

**KIM LINDHOLM**

**BETONIPÄÄLLYTEIDEN SAUMAMATERIAALIEN VERTAILUTUTKIMUS**

TEKNILLINEN KORKEAKOULU  
RAKENNE- JA YHDYSKUNTATEKNIKAN  
LAITOSTEN KIRJASTO

Tämä diplomityö on tehty Teknillisen Korkeakoulun rakennus- ja maanmittaustekniikan osastolla vs. professori Pentti Lindgrenin valvonnassa ja TkT Jarkko Valtosen ohjauksessa.

## ALKUSANAT

Haluan kiittää tielaboratorion henkilökuntaa työssä saamastani avusta ja tuesta sekä kannustavasta ilmapiiristä. Vs. professori Pentti Lindgreniä kiitän työni valvonnasta ja TkT Jarkko Valtosta työni ohjauksesta sekä kirjallisten tuotosteni oikoluvusta. DI (väit.) Anssi Lampista haluan kiittää tutkimuksen alkuunsaattamisesta ja arvokkaista neuvoista. Laboratoriomestari Markku Virtasta sekä koehallin henkilökuntaa kiitän tutkimukseni onnistumisesta teknisesti. Tielaitoksen Hämeen, Turun ja Uudenmaan tiepiirejä, Lohja Oy:tä sekä saumamateriaalien edustajia kiitän myönteisestä suhtautumisesta tutkimukseen.

Lopuksi vielä erikoiskiitos vanhemmilleni ja sisaruksilleni perheineen kaikesta.

Otaniemessä 23. toukokuuta 1994

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Kim Lindholm', with a long horizontal flourish extending to the right.

Kim Lindholm

|   |                |
|---|----------------|
| Tekijä : Kim Lindholm   |                |
| Diplomityö : Betonipäällysteiden saumamateriaalien vertailututkimus |                |
| Päivämäärä : 23.5.1994  | Sivumäärä : 67 |
| Professuuri : Tietekniikka  | Koodi : Yhd-10 |
| Valvoja : vs. prof. Pentti Lindgren                                 |                |
| Ohjaaja : TkT Jarkko Valtonen                                       |                |

Betonipäällysteiden saumamateriaalien vertailututkimuksessa selvitettiin markkinoilla olevien saumamateriaalien toimivuutta ja kestävyyttä Suomen oloissa. Tutkimus koostui kolmesta osasta: kenttätutkimuksesta, laboratoriotutkimuksesta ja selvityksestä, jossa selvitettiin olemassaolevista saumoista saadut kokemukset.

Olemassa olevista saumoista saatuja kokemuksia selvitettäessä ilmeni, että saumamateriaalien kanssa on ollut ongelmia lähes kaikilla tällä ja viime vuosikymmenellä valmistuneilla betoniteillä. Ongelmat eivät ole olleet riippuvaisia betonin lujuusluokasta ennako-oletuksista poiketen.

Kenttätutkimus tehtiin valtatie 3:lla. Koesaumojä seurattiin tarkistuskäynnin puolen vuoden ajan. Lopuksi tehtiin lopputarkastus, jossa koesaumojen kulumisen, mahdolliset vauriot yms. dokumentoitiin. Parhaiten kenttätutkimuksessa menestyivät kumiset saumalistat. Saumamassoilla saumatuissa koesaumoissaan ei toisaalta havaittu vaurioita, korkeintaan jonkinasteista kulumista.

Laboratoriotutkimuksessa tutkittiin saumamassojen tartunta- ja venymisominaisuuksia kahdessa eri pakkaslämpötilassa, kumilistojen kitkaominaisuuksia sekä erilaisten sauman mittasuhteiden merkitystä saumamassoilla saumattuihin saumoihin. Tutkimusmenetelmänä oli vetokoe. Laboratoriotutkimuksessa ilmeni, että saumamassojen venymisominaisuuksissa ja tartunnassa betoniin on suuria eroja eri massoilla. Parhaat tartunta- ja venymisominaisuudet olivat eräillä kylmävalumassoilla. Kumilistoilla puolestaan kummankin tutkitun kumilistan kitka betonisaumassa oli hyvä. Sauman mittasuhtetutkimuksen perusteella parhaat tartunta- ja venymisominaisuudet kuumavalumassalla saumatussa saumassa saavutetaan, kun sauman syvyys on lähellä sauman leveyttä.



|   |                      |
|---|----------------------|
| Author : Kim Lindholm                                       |                      |
| Thesis : Comparison of concrete pavement jointing materials |                      |
| Date : 23.5.1994  | Number of pages : 67 |
| Professorship : Highway Engineering                         | Code : Yhd-10        |
| Supervisor : Prof. Pentti Lindgren                          |                      |
| Instructor : PhD (Civ.Eng.) Jarkko Valtonen                 |                      |

In the comparison of concrete pavement jointing materials has been researched different properties of jointing materials, which are available in common market. The research consisted field test and laboratory test. Further has been studied experiences which have been got from already existing joints.

Studying the experiences from the existing joints it has been cleared up that in Finland there has been problems with joints on almost every concrete pavement paved last decade. There has been joint problems not only on high-strength concrete pavements but also on all kind of concrete pavement strength classes.

The field test was made on one of the main roads. Test joints were observed during half an year. In the end of the field test a final inspection was made. The best jointing materials according to the field test were rubber based joint fillers. On the other hand there were no damages either in those joints which were sealed with jointing compounds. Only some abrasion could be noticed.

The laboratory test studied adhesion and strain of jointing compounds in frost, friction of joint fillers and meaning of different joint dimensions. Researches were made as tensile tests. In laboratory test it has been cleared up that there are great differences in adhesion and strain properties between jointing compounds. Some cold applied type jointing compounds had the best adhesion and strain results. Both rubber based joint fillers studied had a good friction in a concrete joint. After the different joint dimensions studies it is clear that the best adhesion and strain properties has a joint which depth is close to the width.



# SISÄLLYSLUETTELO

## ALKUSANAT

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

|   |    |
|---|----|
| 1. JOHDANTO   | 8  |
| 1.1 Tutkimuksen taustaa   | 8  |
| 1.2 Vertailututkimuksen vaiheet   | 9  |
| 2. SELVITYS BETONIPÄÄLLYSTEEN OMINAISUUKSISTA JA SAUMAMATERIAALEISTA SAADUISTA KOKEMUKSISTA | 10 |
| 2.1 Yleistä   | 10 |
| 2.2 Korkealujuusbetonin ominaisuuksia tiepäällysteenä                                       | 10 |
| 2.3 Kokemuksia saumoista kotimaisilta betoniteiltä  | 12 |
| 2.3.1 Paraisten Kalkkitie   | 12 |
| 2.3.2 Pirkkala  | 13 |
| 2.3.3 Nastola   | 14 |
| 2.3.4 Kempele   | 14 |
| 2.4 Päätelmiä saumamateriaaleista saaduista kokemuksista                                    | 14 |
| 2.5 Aikaisempia saumatutkimuksia  | 15 |
| 3. KENTTÄTUTKIMUS   | 17 |
| 3.1 Yleistä   | 17 |
| 3.2 Kenttätutkimuksen tavoitteet  | 18 |
| 3.3 Olosuhteet kenttätutkimuksessa  | 18 |
| 3.4 Kenttätutkimuksen muuttujat   | 19 |
| 3.4.1 Kumilistat  | 20 |
| 3.4.2 Kuumavalumassat   | 20 |

|   |        |
|---|--------|
| 3.4.3 Kylmävalumassa  | 20     |
| 3.5 Koesaumojen teko  | 21     |
| 3.6 Koesaumojen kunnon seuraaminen kenttätutkimuksen aikana | 25     |
| 3.6.1 Ensimmäinen tarkastuskäynti                           | 25     |
| 3.6.2 Toinen tarkastuskäynti                                | 25     |
| 3.6.3 Kolmas tarkastuskäynti                                | 27     |
| 3.7 Lopputarkastus  | 27     |
| 3.8 Päätelmiä kenttätutkimuksesta                           | 29     |
| <br>4. LABORATORIOTUTKIMUS                                  | <br>31 |
| 4.1 Yleistä   | 31     |
| 4.2 Massatutkimuksen tavoitteet                             | 31     |
| 4.3 Massatutkimuksen koejärjestelyt                         | 31     |
| 4.3.1 Yleistä   | 31     |
| 4.3.2 Laboratoriokokeen muuttujat                           | 32     |
| 4.3.3 Koemäärät   | 33     |
| 4.3.4 Materiaalitarve                                       | 33     |
| 4.3.5 Koeaikataulu  | 33     |
| 4.4 Laitteisto ja materiaalit massatutkimuksessa            | 33     |
| 4.4.1 Vetolaite   | 33     |
| 4.4.2 Kuumavalumassat                                       | 35     |
| 4.4.3 Kylmävalumassat                                       | 35     |
| 4.4.4 Betonit   | 36     |
| 4.5 Massatutkimuksen tekeminen                              | 37     |
| 4.5.1 Koekappaleiden valmistaminen                          | 37     |
| 4.5.2 Koekappaleiden säilyttäminen ennen vetokoetta         | 37     |
| 4.5.3 Vetokoe   | 37     |
| 4.6 Massatutkimuksen koetulosten laskeminen ja esittäminen  | 39     |
| 4.7 Saumamassojen laboratoriotutkimuksen tulokset           | 39     |

|   |    |
|---|----|
| 4.7.1 Tulossuureiden esittely                     | 39 |
| 4.7.2 Massa A                                     | 41 |
| 4.7.3 Massa B                                     | 42 |
| 4.7.4 Massa C                                     | 44 |
| 4.7.5 Massa D                                     | 45 |
| 4.7.6 Massa E                                     | 46 |
| 4.7.7 Massa F                                     | 47 |
| 4.7.8 Massa G                                     | 48 |
| 4.7.9 Massa H                                     | 50 |
| 4.7.10 Massa I                                    | 51 |
| 4.7.11 Massa J                                    | 52 |
| 4.7.12 Tulosten tilastollinen tarkastelu          | 54 |
| 4.8 Sauman mittasuhteiden laboratoriotutkimus     | 55 |
| 4.9 Kumilistojen laboratoriotutkimus              | 56 |
| 4.9.1. Tutkimuksen tarkoitus                      | 56 |
| 4.9.2. Yleistä koejärjestelyistä                  | 56 |
| 4.9.3 Materiaalitarve                             | 57 |
| 4.9.4 Koesauman valmistaminen                     | 58 |
| 4.9.5 Vetokoe                                     | 58 |
| 4.9.6 Tulokset                                    | 58 |
| 4.10 Päätelemät laboratoriotutkimuksen tuloksista | 60 |
| 4.10.1 Yleistä                                    | 60 |
| 4.10.2 Kuumavalumassat                            | 60 |
| 4.10.3 Kylmävalumassat                            | 61 |
| 4.10.4 Kumilistat                                 | 62 |
| 5. LOPPUPÄÄTELMÄT                                 | 63 |
| LÄHDELUETTELO                                     | 65 |
| MUUTA KIRJALLISUUTTA                              | 65 |
| LIITTEITÄ 4 kpl, yhteensä 17sivua                 |    |



## 1. JOHDANTO

### 1.1 Tutkimuksen taustaa

Suomessa on 15 viime vuoden aikana päällystetty muutamia lyhyitä tieosuuksia lähinnä koemielessä betonilla. Betonipäällystettä pidetään käyttökelpoisena kestopäällysteenä raskaasti liikennöidyillä teillä ja kaduilla. Betoni on asfalttibetoniin verrattuna kulumista paremmin kestävä kestopäällyste, joskin myös kustannuksiltaan kalliimpi./1/

Merkittävimmät betonitietkohteet 1980- ja 1990-luvuilla ovat Paraisten Kalkkitie, kantatie 45 Rajaniemi-Lakalaiva Pirkkalassa, valtatie 12 välillä Villähde-Nastola, valtatie 4 välillä Kempele-Kiviniemi ja valtatie 3 Nurmijärven Karhunkorvessa. Näistä tosin Villähde-Nastola osuus päällystettiin asfalttibetonilla 1993. Uusimmissa kohteissa on käytetty betonipäällysteenä korkealujuusbetonia (puristuslujuus noin 60-120 MPa)./1/

Taulukko 1. Merkittävimmät sodanjälkeiset betonitietkohteet Suomessa./1/

| MERKITTÄVIMMÄT BETONITIE-KOhteet Suomessa        | PIT.<br>(m) | LEV.<br>(m) | PAKS.<br>(cm) | SAUMA-VÄLI<br>(m)                            | BET.<br>LUJ. | RAK.<br>VUOSI               |
|--|-------------|-------------|---------------|--|--------------|-----------------------------|
| YLIKYLÄ - PARAINEN<br>mt 180, Kaarina, Parainen  | 12600       | 2 x 3,50    | 18            | 15<br>(joka kolmas<br>on liikunta-<br>sauma) | K32          | 1958-<br>1959<br>(asv.1984) |
| KEHÄ III<br>kt 50, Vantaa                        | 720         | 2 x 3,75    | 20            | 5  | K30-50       | 1971<br>(asv.1985)          |
| PALJOJÄRVI - OLKKALA<br>vt 2, Vihti              | 1100        | 2 x 3,75    | 20            | 5  | K40          | 1973<br>(asv. 1984)         |
| KALKKITIE<br>katu, Parainen                      | 1943        | 2 x 3,66    | 20<br>18      | 5<br>4,5                                     | K40          | 1981<br>1982                |
| RAJANIEMI - LAKALAIVA<br>kt 45, Pirkkala         | 2050        | 2 x 4,25    | 20            | 5  | K40          | 1983(*)                     |
| VILLÄHDE - NASTOLA<br>vt 12, Nastola             | 2450        | 2 x 4,25    | 22            | 5  | K60          | 1984(**)                    |
| KEMPELE - KIVINIEMI<br>vt 4, vt 8, Oulu, Kempele | 4040        | 2 x 4,50    | 22            | 5  | K55          | 1990                        |
| KARHUNKORPI<br>vt 3, Nurmijärvi                  | 4550        | 2 x 4,50    | 22            | 5  | K90          | 1991                        |

(\* peruskorjattu 1992: tasausjyrsintä + timanttihionta

(\*\* tasausjyrsitty 1991, asfaltoitu 1993

Betonilla päällystetyissä teissä on havaittu ongelmana saumamateriaalien irtoaminen päällysteen saumoista. Kempele-Kiviniemi osuudella jouduttiin kaikki saumat korjaamaan vuonna 1992, jolloin saumamassan tilalle vaihdettiin kumilistat. Vastaavasti Nurmijärvellä on jouduttu alkuperäisiä saumoja korjaamaan vain pari vuotta tien valmistumisen jälkeen. Syytä saumojen irtoamiseen ei ole tutkittu, mutta arviot viittaavat siihen, että ongelmana on saumamateriaalin huono tartunta korkealujuusbetoniin erityisesti talvioloissa.

Tältä pohjalta löytyi kiinnostusta tämän vertailututkimuksen tekemiseen. Tavoitteena oli löytää Suomeen sopivia betonipäällysteiden saumamateriaaleja. Tutkimuksen tilasivat Tielaitoksen Uudenmaan, Turun ja Hämeen tiepiirit. Tutkimuksen tekemisen mielenkiintoa lisäsi se, että lähivuosina on suunnitteilla muutamia uusia betonitiekohteita, joista Tampereen itäisen ohikulkutien päällystystyöt alkavat jo tänä vuonna. Vuosina 1995 ja 1996 päällystetään betonilla Kehä III välillä Bemböle-Vanhakartano.

Betonipäällysteiden saumamateriaalien vertailututkimuksessa vertailtiin markkinoilla olevia valmiita saumamateriaalituotteita ja niistä pyrittiin erottelamaan käyttökelpoiset myös Suomen oloissa toimivat materiaalit. Saumamateriaalit tutkimukseen ovat toimittaneet maahantuojat ja tutkimuksessa käytetyt betonikappaleet on valmistanut Lohja Oy.

## 1.2 Vertailututkimuksen vaiheet

Betonipäällysteiden saumamateriaalien vertailututkimus koostuu kenttä- ja laboratoriotutkimuksesta. Lisäksi selvitettiin saumamateriaaleista Suomessa saadut kokemukset eri betonitiekohteissa.

Kenttätutkimuksessa vertailtiin erilaisten saumamateriaalien käyttäytymistä ja mahdollista vaurioitumista todellisissa tieolosuhteissa. Kenttäkokeen tekemiseen tarjoutui mahdollisuus valtatie 3:n Nurmijärven betonitieosuuden saumojen korjauksen yhteydessä. Koesaumoja seurattiin noin puolen vuoden ajan loka-kuusta 1993 huhtikuuhun 1994.

Laboratoriotutkimuksessa selvitettiin saumamateriaalien tartunta- ja venymisominaisuuksia pakkasessa. Lisäksi selvitettiin erilaisten betonilaatujen vaikutusta tartuntaan ja erilaisten sauman mittasuhteiden vaikutusta saumamassojen toimivuuteen.



## 2. SELVITYS BETONIPÄÄLLYSTEEN OMINAISUUKSISTA, SAUMAMATERIAALEISTA SAADUISTA KOKEMUKSISTA JA AIKAISEMMISTA SAUMAMATERIAALITUTKIMUKSISTA

### 2.1 Yleistä

Tässä selvityksessä on haastatteluin, kirjallisuuden avulla ja betonipäällystekoh-teissa käynnein kartoitettu Suomessa kertyneitä kokemuksia betonipäällysteiden saumoista.

Tutkimuksen tässä osassa on lisäksi selvitetty korkealujuusbetonin fysikaalisia ominaisuuksia, jotka kohdistuvat betonipäällysteen saumoihin, erityisesti poikittaissaumoihin, ja näin vaikuttavat materiaalien pysymiseen saumoissa.

### 2.2 Korkealujuusbetonin ominaisuuksia tiepäällysteenä

Korkealujuusbetonilla tarkoitetaan betonia, jonka lujuusluokka tiepäällysteenä on yleensä K60 - K90. Uusimmat betonitietekohteet on päällystetty korkealujuusbetonilla mm. paremman kulutuskestävyyden aikaansaamiseksi. Betonin lujuutta saadaan lisättyä pienentämällä sen huokoisuutta ja alentamalla vesi-sementtisuhdetta tehonotkistimen avulla. Betonipäällysteissä huokoisuuden pienentäminen ja siten betonin lujuuden kasvattaminen on saavutettu esimerkiksi täyttämällä syntyvät huokokset hienojakoisemmilla aineilla kuten silikalla. Silika on piin ja piiraudan valmistamisen yhteydessä syntyvä sivutuote, joka jauheena koostuu hyvin pienistä pallomaisista hiukkasista. Hiukkasten halkaisija on noin  $100 \times 10^{-9}$  mm. Silikahiukkaset täyttävät betoniin muodostuvat huokokset ja jakavat ne pienemmiksi huokosiksi. Näin saadaan aikaiseksi tiivis ja luja betonilaatu. Valtatie 3:lla Nurmijärvellä saavutettiin betonipäällysteen puristuslujuudeksi noin 90 MPa.

Korkealujuusbetonin leikkauspinta on erittäin sileä, joten myös päällysteeseen sahattujen saumojen reunat ovat hyvin tasaisia. Eli poikkeuksena matalampilujuuksisiin betoneihin ei korkealujuusbetonissa ole saumassa huokoista tartunta-pintaa saumamassalle. Tämä seikka yhdistettynä betonilaatan lämpötilan muutoksista johtuvaan liikkeeseen ja liikenteen kulutukseen luo suuret vaatimukset saumoissa käytetyille saumamateriaaleille.

Kutistumis- ja pitkittäissauman rajaaman betonilaatan liikkeet lämpötilanmuutosten mukaan voidaan laskea yksinkertaisesti kaavalla



$$\Delta l = \alpha \times l \times \Delta T, \quad (\text{kaava 1})$$

|       |            |                           |
|-------|------------|---------------------------|
| missä | $\Delta l$ | on pituuden muutos        |
|       | $\Delta T$ | lämpötilan muutos         |
|       | $\alpha$   | pituuden lämpötilakerroin |

Betonin pituuden lämpötilakerroin on noin  $12 \times 10^{-6} \text{ 1/K}$ . Näin saadaan esimerkiksi Nurmijärven betonitielle, jossa betonilaatan pituus on 5 m, teoreettisesti laatan pituuden lämpötilamuutokseksi  $0,06 \text{ mm/1}^\circ\text{C}$ . Koska lämpötilan laskiessa laatat kutistuvat niin sauma leviää. Kahden samanlaisen laatan välissä oleva kutistumissauma levenee tällöin mainitut  $0,06 \text{ mm/1}^\circ\text{C}$ .

Vastaavasti kuin sauman leveyden muutokset lämpötilan muutosten mukaan, voidaan laskea jännitys, joka aiheutuu betonilaatan pituuden lämpötilanmuutoksista. Tämä jännitys vaikuttaa epäjatkuvuuskohtaan, joka muodostuu betonin ja saumamassan rajapintaan. Jos saumamassan venymisominaisuudet eivät riitä sauman muodonmuutoksiin, niin ilman lämpötilan laskiessa rajapintaan kohdistuva jännitys saa aikaan massan irtoamisen betonista. Irtoamista ei tapahdu, jos massan tartunta saumaan on suurempi kuin saumamassan ja betonin rajapinnassa vaikuttava jännitys. Lämpötilan muutoksesta aiheutuva jännitys, jonka betonilaatan lämpötilamuodonmuutokset aiheuttavat laatan ja muodonmuutosta vastustavan kohteen välille lasketaan ns. Hooken lailla

$$\sigma = E \times \alpha \times \Delta T, \quad (\text{kaava 2})$$

|       |            |                          |
|-------|------------|--------------------------|
| missä | $\sigma$   | on jännitys              |
|       | $E$        | betonin kimmokerroin     |
|       | $\alpha$   | betonin lämpötilakerroin |
|       | $\Delta T$ | lämpötilan muutos        |

Betonin kimmokerroin on riippuvainen betonin puristuslujuudesta ja voidaan korkealujuusbetonille laskea esimerkiksi kaavalla

$$E = 3320 \times K^{1/2} + 6900 \text{ (MPa)}, \quad (\text{kaava 3}) \quad /2/$$

|       |     |                         |
|-------|-----|-------------------------|
| missä | $K$ | on betonin lujuusluokka |
|-------|-----|-------------------------|

Yhtälö pätee lujuuksilla K80 - K100. Kirjallisuudessa on mainittu useita muitakin yhtälöitä kimmokertoimen laskemiseksi. Betoninormeissa käytetään rakenteellisessa mitoituksessa korkealujuusbetonille kimmokertoimen arvona  $38\,700 \text{ MPa}$ . Jännitykseksi edellä esitetyillä kaavoilla saadaan Nurmijärven betonitielle,

jossa betonin lujuusluokka on K90, noin 0,46 MPa/1°C. Eli yhden asteen lämpötilan muutos betonissa aiheuttaa saumaan 0,46 MPa jännityksen. Jännitys on joko vetoa tai puristusta lämpötilan muutoksen suunnan mukaan. Tämä jännitys on sen verran suuri, että jo muutaman asteen lämpötilan aleneminen betonissa saa aikaan jännityksen, jota saumamassojen tartunta betoniin ei pysty vastustamaan. Jännityksen aiheuttamaa rasiutusta pienentää massan kyky venyä sauman leveyden muutosten mukaan. Saumamassa siis irtoaa betonista, jos massa ei veny riittävästi sauman levitessä lämpötilan laskiessa. Koska todennäköisesti ei ole olemassa saumamassaa, jolla tartunta betoniin olisi suurempi kuin laatan muodonmuutoksista aiheutuva jännitys, niin tartuntaa tärkeämpi ominaisuus saumamassoilla on elastisuus. Toki tartunnalla on merkitys siinä, että tartuntavoiman on oltava suurempi kuin voiman, jonka massan venyminen aiheuttaa saumamassan ja betonin rajapintaan.

## 2.3 Kokemuksia saumoista kotimaisilta betoniteiltä

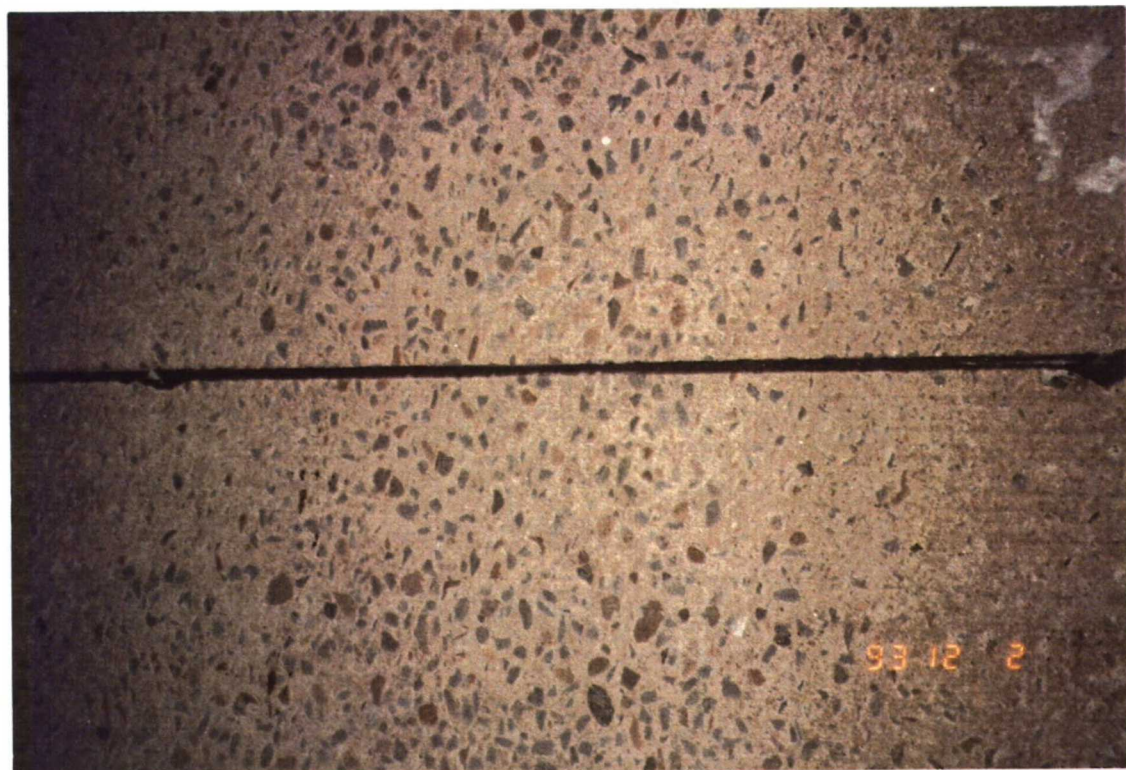
### 2.3.1 Paraisten Kalkkitie

Kalkkitie Paraisilla on suhteellisen vähän liikennöity katu Paraisilla. Katu päällystettiin betonilla vuosina 1981-82. Betonilla päällystetyn osuuden pituus on noin 2 km ja tien leveys on  $2 \times 3,66$  m. Betonipäällysteen paksuus on vuonna 1981 rakennetulla osuudella 20 cm ja laatan pituus 5 m. Vuonna 1982 rakennetulla osuudella paksuus on 18 cm ja laatan pituus 4,5 m. Päällysteessä käytetty betoni on lujuusluokaltaan K40.

Päällysteen kuumavalusaumamassat on uusittu välittömästi tien valmistumisen jälkeen. Alkuperäinen sauma oli epäonnistunut, koska massa ei ollut tarttunut saumaan. Syynä tähän oli se, ettei saumoissa käytetty alunperin primeria ja saumat olivat mahdollisesti olleet likaisia ja kosteita. Primeriksi kutsutaan ainetta, jolla parannetaan saumamassan tartuntaa betoniin. Saumojen uusinnassa tehtiin saumaustyö huolellisemmin. Uusinnan jälkeen saumoille ei ole tehty mitään. Paraisten kaupungilta saatujen tietojen mukaan saumojen kuntoa ei ole viime vuosina tarkastettu, mutta valituksia ei ole teknisen viraston tietoon tullut.

Tutustumiskäynti Kalkkitiellä 2.12.1993 todisti, että saumat ovat säilyneet hyvin korjauksen jälkeen. Vaurioituneita saumoja ei näkynyt ja saumamassojen kulumisenkin oli ollut vähäistä.





Kuva 1. Hyväkuntoista saumaa Paraisten Kalkkitiellä.

### 2.3.2 Pirkkala

Betonitie Pirkkalassa kantatie 45:llä välillä Rajaniemi-Lakalaiva on valmistunut vuonna 1983. Betonitien pituus on noin 2 km ja betonipäällysteen leveys  $2 \times 4,25$  metriä. Päällysteen lujuusluokka on K40 ja paksuus 20 cm. Tiellä on kahdeksan eri koealuetta, joilla on vaihdeltu mm. kiviainesta, betonin lujuutta ja päällysteen rakennetta. Betonipäällyste on peruskorjattu tasausjyrsinnällä ja timanttihionnalla vuonna 1992. Peruskorjauksen yhteydessä uusittiin saumat. Vanhat massat purettiin pois ja saumaustyö tehtiin kokonaan uudestaan.

Pirkkalan betonitiellä oli ollut saumaongelmia ennen peruskorjausta. Alkuperäiset saumamassat olivat alkaneet irtoilla ja tartunta betoniin oli kadonnut. Saumamassoja saattoi vetää käsin pois saumasta. Alkuperäinen saumaus oli tehty kuumavalumassoilla. Marraskuussa 1993 peruskorjauksen jälkeiset saumat vaikuttivat päällisinpuolin ehjiltä.



### 2.3.3 Nastola

Valtatiellä 12 päällystettiin vuonna 1984 Nastolassa välillä Villähde-Nastola betonilla noin 2,5 km:n mittainen osuus. Betonipäällysteen leveys on  $2 \times 4,25$  m ja paksuus 22 cm. Betonin lujuusluokka on K60. Vuonna 1991 päällyste tasausjyrsittiin ja vuonna 1993 betonitie asfaltoitiin.

Nastolan betonitieltä on samanlaiset käyttökokemukset saumamassasta kuin Pirkkalasta. Kuumavalumassa alkoi ajan myötä irtolla saumasta ja saumoja jouduttiin saumaamaan uudestaan. Vauriot ovat syntyneet, kun massan tartunta betoniin oli kadonnut. Saumaongelmia oli koko betonipäällysteen olemassaoloajan ja niistä päästiin eroon vasta asfaltoitaessa tie.

### 2.3.4 Kempele

Oulun lähellä Kempeleessä päällystettiin betonilla 1990 noin 4 km:n osuus moottoriliikennetietä valtatie 4:llä välillä Kempele-Kiviniemi. Päällysteen lujuusluokka on K55. Leveydeltään betonipäällyste on  $2 \times 4,5$  m ja päällysteen paksuus on 22 cm. Laattapituus tiellä on 5 m.

Tälläkin tiellä on kohdattu saumaongelmia. Saumaus on jouduttu uusimaan kolmen vuoden sisällä jo kaksi kertaa. Viimeksi vuonna 1993 saumamassat korvattiin kumilistoilla. Tämä on ensimmäinen laaja koe kumilistoille saumamateriaalina. Onkin mielenkiintoista nähdä miten listat kestävät saumoissa ajan kuluessa.

## 2.4 Päätelmiä saumamateriaaleista saaduista kokemuksista

Selvityksen perusteella voidaan todeta, että kuumavalumassoilla saumatuilla teillä on ollut saumaongelmia lähes jokaisessa betonitiekohhteessa. Ainoan poikkeuksen tekee Paraisten Kalkkitie, jossa saumamassa on pysynyt saumoissa ensimmäisen korjauksen jälkeen varsin hyvin. Tällöin saumatyö tehtiin erityisellä huolellisuudella. Onkin mahdollista, että saumaongelmat johtuvat saumaus työn heikosta laadusta. Valtatie 3:lla Nurmijärvellä oli esimerkiksi havaittavissa, että monissa paikoin, missä saumat olivat vaurioituneet, oli sauman avarrushaus ollut liian matala. Matalimmillaan avarruksen syvyys oli vain noin 15 mm, kun ohjesyvyys oli ollut 25 mm.

Kokemukset aikaisemmista betonipäällysteistä eivät vahvista sitä olettamusta, että saumamassan heikko tartunta betoniin johtuisi korkealujuusbetonista.

Esimerkiksi Pirkkalan betonitien lujuusluokka on K40-K50 ja silti siellä on ollut ongelmia saumamassan tartunnan kanssa. Todennäköisempää onkin, että yhdessä itse saumaustyön laadun kanssa Suomen ilmasto-olot asettavat ehkä liian suuria vaatimuksia saumamassoille, etenkin kuumavalumassoille. Kovalla pakkasella, kun sauma on leveimmillään, joutuu saumamassa suurimmalle koetukselle venymänsä suhteen. Kuitenkin saumamassan elastisuus on kylmällä heikoimmillaan. Tästä aiheutuu massaan rasituksia, joita se ei kestä.

Selvityksen perusteella tuleekin esille ajatus, että etenkin kuumavalumassat eivät ehkä olekaan hyvä valinta betonipäällysteen saumaukseen Suomessa. Ratkaisu saumaongelmiin voikin löytyä saumalistaista, jotka eivät ole kuumavalumassojen tapaan lämpötila-arkoja. Vastaus saumalistojen soveltuvuuteen saadaan, kun Kempeleen betonitien saumalistaista kertyy käyttökokemusta. Toinen ratkaisumahdollisuus saumaongelmiin voivat olla kylmävalumassat, jotka eivät ole niin kylmänarkoja kuin kuumavalumassat. Myös saumaustyön laatuun tulee kiinnittää erityistä huomiota.

## 2.5 Aikaisempia saumamateriaalitutkimuksia

Suomessa ei liene aikaisemmin tutkittu betonipäällysteiden saumamateriaaleja tämän tutkimuksen laajuisesti. Sen sijaan VTT on tehnyt tutkimuksen siltojen liikuntasauomoissa käytettävistä saumamateriaaleista. Ruotsissa Statens Provninganstalt (SP) on tehnyt 1980-luvun alussa laajan tutkimuksen teiden ja lentokenttien päällysteissä käytettävistä saumamassoista./3//4/

Syynä ruotsalaisen tutkimuksen tekemiseen ovat olleet ilmenneet ongelmat saumamassojen pysymisessä saumoissa lentokentillä ja teillä. Tutkimuksessa on pyritty selvittämään mistä ongelmat aiheutuvat. Selvityksen kohteena on ollut lämpötilan ja sen muutosten, betonilaadun, kemikaalien ja vastaavien tekijöiden vaikutus saumamassan vaurioitumiseen saumassa.

Laboratoriotutkimuksessa on käytetty Ruotsissa vastaavanlaista vetokoetta kuin tässä tutkimuksessa. Temperoitu koetila on mahdollistanut hitaammat vetonopeudet, hitaimmillaan 0,012 mm/min. Tässä tutkimuksessa käytettiin laboratoriotutkimuksessa vetonopeutena 5 mm/min. Ruotsalaisen tutkimuksen mukaan on perusteltua käyttää todellisia sauman muutosnopeuksia suurempia vetonopeuksia laboratoriossa, koska päällysteen saumoissa sauman leveyden muutokset tapahtuvat usein harppauksittain.

SP:n tutkimuksessa koekappaleita vanhennettiin lämpökaapissa ennen koetta.



Koekappaleita vanhennettiin 6 viikkoa 70°C lämpötilassa, joka vastaa ruotsalaisten mukaan todellisuudessa 5 vuotta kenttäoloissa. Verrattaessa uuden noin kuukauden vanhan koekappaleen ja vanhennetun koekappaleen vetokoetuloksia voitiin havaita, että vanhennetulla koekappaleella oli useimmiten suuremmat jännitykset. Osalla tutkituista massoista ei vanhennus toisaalta vaikuttanut venymisominaisuuksiin juuri ollenkaan.

SP:n tutkimuksessa tutkituista kuumavalumassoista suurin osa menetti elastisuutensa jo -18°C lämpötilassa. Tutkittu kylmävalumassa sen sijaan saavutti jopa 100 %:n venymän -25°C koelämpötilassa ja vasta -40°C koelämpötilassa tämä massa oli jäykkää. Tällöinkin vetokokeessa useimmiten betonikappale hajosi ennen saumaa. On kuitenkin huomattava, että tutkimuksessa todetaan, että todellisuudessa ei minkään massan voi odottaa kestävän yli 50 %:n venymää, johtuen monista tekijöistä, kuten sauman kosteudesta, liikenteen dynaamisesta kuormituksesta jne.

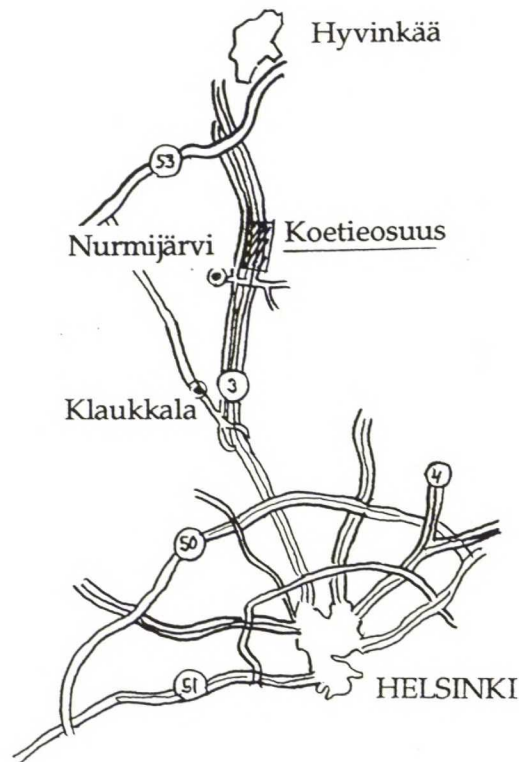


### 3. KENTTÄTUTKIMUS

#### 3.1 Yleistä

Lokakuussa 1993 tehtiin valtatie 3:lla Nurmijärven Karhunkorvessa betonitien saumojen korjauksen yhteydessä kenttätutkimusta varten koesaumoja. Saumamateriaaleja olivat kumilistat, kuumavalumassat ja kylmävalumassa. Koesaumat tehtiin kutistumissaumoihin, joissa alkuperäinen saumamassa on pahiten vaurioitunut. Korjaustyön teettäjänä oli Lohja Oy ja urakoitsijana Pikikolmio Oy.

Kenttätutkimuksessa havainnoitiin tutkittavien saumamateriaalien kulumista ja mahdollista vaurioitumista yhden talven ajan. Tilannetta koetiellä seurattiin tarkastuskäynneillä noin kerran kuukaudessa ja lisäksi ajamalla koeosuus läpi noin kaksi kertaa kuukaudessa. Lopuksi tehtiin koesaumojen lopputarkastus koetiellä huhtikuussa.



Kuva 2. Kenttätutkimuksen koetien sijainti.

### 3.2 Kenttätutkimuksen tavoitteet

Kenttätutkimuksen tavoitteena oli selvittää erityyppisten saumamateriaalien käyttäytyminen syys- ja talvioloissa todellisessa tieympäristössä. Lähinnä seurattiin, kuinka erilaiset saumamateriaalit kestävät keliolojen suuria vaihteita ja liikenteen kulutusta korkealujuusbetonipäällysteen saumoissa. Materiaaleja ei niinkään pyritty pistämään paremmuusjärjestykseen, vaan tarkoituksena oli selvittää miten ja mitkä tutkittavista saumamateriaaleista soveltuvat Suomen oloissa betonipäällysteiden, erityisesti korkealujuusbetonipäällysteiden, saumoihin.

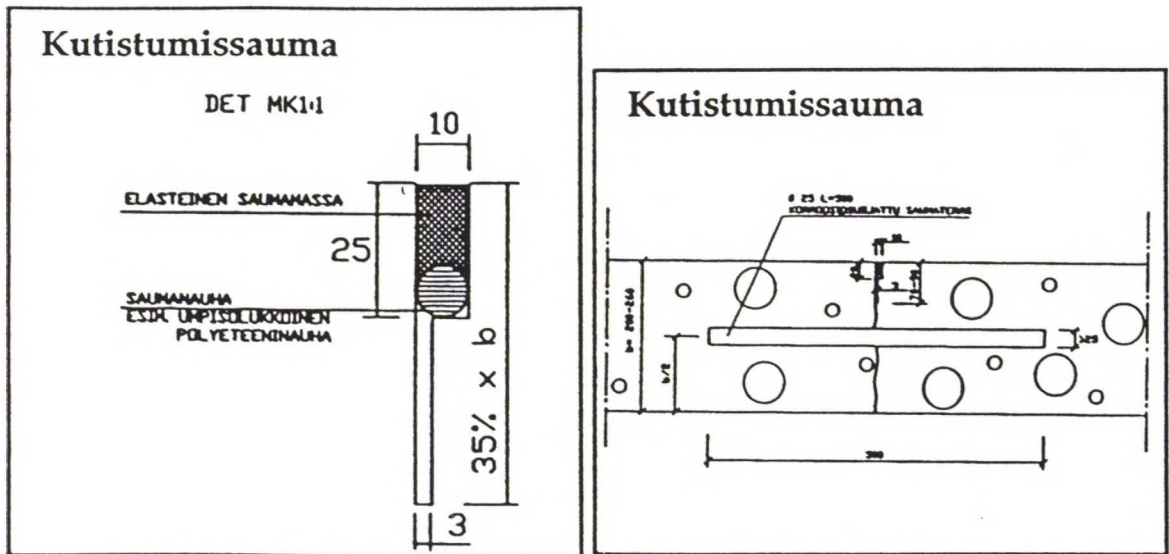
### 3.3 Olosuhteet kenttätutkimuksessa

Betonitie, jossa kenttätutkimukset tehtiin on osa Helsingin ja Hämeenlinnan välistä moottoritietä. Keskivuorokausiliikenne betonikoetieellä oli vuonna 1993 13.200-13.300 ajoneuvoa vuorokaudessa.

Betonipäällyste on valmistunut vuonna 1991. Päällystystyön mukaanlukien saumatyöt urakoi saksalainen Heilit+Woerner Ag. Päällyste on tyypiltään raudoittamaton saumateräksin varustettu liukuvalupäällyste. Päällyste valettiin kahdella liukuvalukoneella kahtena kerroksena koko ajoradan levyisenä (9 m). Noin vuorokauden ikäiseen päällysteeseen sahattiin pituussuuntainen sauma päällysteen keskilinjalle ja poikittaiset kutistumissaumat viiden metrin välein. Saumat saumattiin betonin riittävästi kuivuttua bitumipohjaisella elastisella kuumavalusaumamassalla. Saumarakenne on esitetty kuvassa 3. Betonin tavoitelujuus oli K75 mutta lopulliseksi lujuudeksi tuli K90.

Vuoden 1993 aikana havaittiin alkuperäisten saumamassojen osittain vaurioituneen tiellä. Erityisesti oikeanpuoleisen ajoradan poikittaissaumoissa oli massa paikoittain katkennut ja irronnut. Joissain vauriokohdissa oli sauman asennussyvyys mahdollisesti liian matala, sillä mittaukset osoittivat avarrussahauksen olevan paikoitellen vain 15-20 mm syvä.

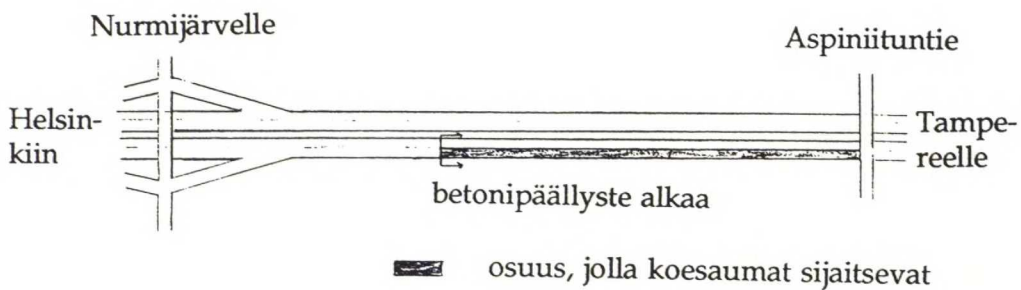
Koesaumojen teon aikana korjattiin havaitut saumavauriot, mutta koesaumojen tarkastuskäynneillä havaittiin alkuperäisten saumojen vaurioituneen lisää. Yleisin vauriotyyppi oli saumamassan irtoaminen betonista ja katkeaminen kovilla pakkasilla.



Kuva 3. Karhunkorven betonitien kutistumissaumojen poikkileikkaus./5/

### 3.4 Kenttätutkimuksen muuttujat

Koesaumoja tehtiin kahdella kumilistalla, kolmella kuumavalumassalla ja yhdellä kylmävalumassalla. Massasaumoista osassa käytettiin pohjanauhaa ja osa täytettiin saumamassalla pohjaan asti. Saumat sijoitettiin korjattavan tieosuuden alkupäähän mahdollisimman lyhyelle matkalle saumojen tarkastamisen helpottamiseksi ja jotta kaikki koesaumat olisivat mahdollisimman samanlaisissa oloissa ja rasituksissa.

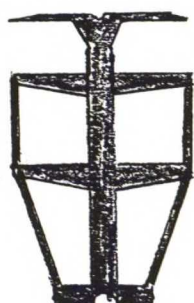


Kuva 4. Kenttätutkimuksen koesaumojen sijainti koetiellä.



### 3.4.1 Kumilistat

Kumilistoja oli kenttätutkimuksessa kahta tyyppiä, tutkimuksessa listat X ja Y. Listat poikkeavat toisistaan profiililtaan ja kumin jäykkyydessä. X on profiililtaan umpinainen ja Y avoin. Lista X on listoista jäykempää. Listalla X tehtiin viisi koesaumaa ja listalla Y kolme.



LISTA X



LISTA Y

Kuva 5. Saumalistojen X ja Y poikkileikkaukset.

### 3.4.2 Kuumavalumassat

Koesaumoihin käytettiin kenttätutkimuksessa kolmea bitumipohjaista kuumavalumassaa kahdelta eri valmistajalta. Nurmijärven betonitien alkuperäinen massa ei ollut tutkimuksessa mukana. Käytetyt kuumavalumassat ovat tutkimuksessa massat A, E ja F.

Massoilla E ja F tehtiin kummallakin viisi koesaumaa ilman pohjanauhaa ja viisi pohjanauhalla. Massalla A vastaavat määrät olivat neljä saumaa pohjanauhalla ja neljä saumaa ilman pohjanauhaa.

### 3.4.3 Kylmävalumassa

Kuudes saumamateriaali kenttätutkimuksessa oli silikonipohjainen saumamassa, tutkimuksessa massa H. Massasta tehtiin kolme koesaumaa, joissa jokaisessa oli pohjanauha.



### 3.5 Koesaumojen teko

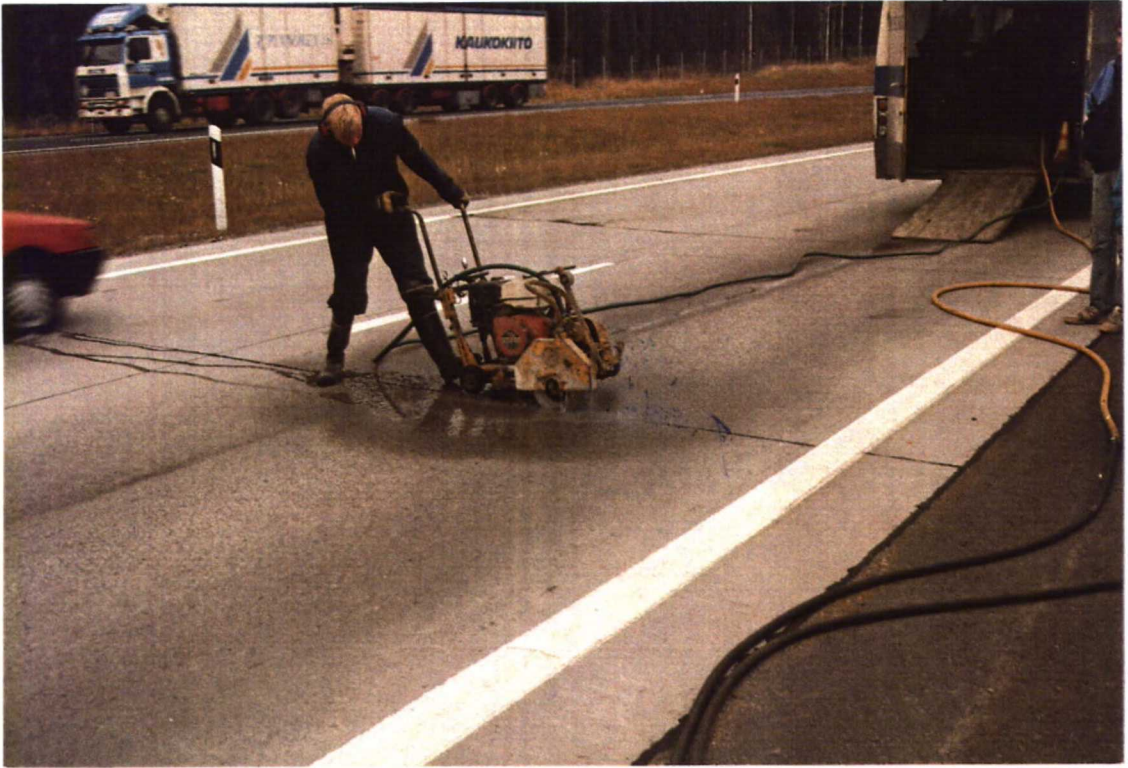
Koesaumoiiksi valittiin ne kutistumissaumat, joissa oli suurimmat vauriot alkuperäisessä saumamassassa. Kaikki koesaumat sijaitsivat oikeanpuoleisella ajoradalla, jossa saumat altistuivat suurimmalle liikenteen kulutukselle.

Vaurioituneista saumoista poistettiin vanha saumamassa käsityönä erilaisilla työkaluilla puoshaasta ruuvimeisseliin. Puutteellisista työkaluista huolimatta vanha massa saatiin poistettua saumoista kohtuullisen hyvin. Vanhan saumamassan poistoon kokeiltiin myös sahausta mutta tämä menetelmä ei onnistunut.

Vanhan saumamassan poistamisen jälkeen koesaumat sahattiin timanttisahalla ja puhdistettiin paineilmalla. Sahaus suoritettiin siten, että listalla X saumattavat saumat sahattiin 12 mm leveiksi ja 40 mm syviksi, listalle Y vastaavasti 9 mm leveiksi ja 40 mm syviksi. Todellisuudessa saumat tulivat hieman leveämmiksi, koska sahausjälki oli vähän terän leveyttä leveämpää. Saumojen leveydet ovat valmistajan ohjeiden mukaiset. Massalla saumattavat saumat sahattiin 9 mm leveiksi ja 35 mm syviksi. Ilmeisesti alkuperäisen saumauksen aikana oli ollut lämpimämpi sää, sillä alunperin saumat oli sahattu 10 mm leveiksi, kuitenkin nyt ei 9 mm levyinen terä pyörinyt tyhjää saumassa. Sahausjätteet poistettiin saumoista paineilmalla.

Kumilistat voitiin asentaa saumoihin heti sauman sahauksen ja paineilmalla puhdistamisen jälkeen. Kumpikin kumilistatyyppi asennettiin samalla tavalla. Lista painettiin koko sauman pituudelta yhtenäisenä saumaan. Tavoitteena oli saada listat 10 mm:n syvyyteen tien pinnasta mutta puutteellisten työkalujen takia listat painuivat syvemmälle, noin 15-20 mm:n syvyyteen.

Koesaumojen sahauksen ja puhdistuksen jälkeen saumat olivat valmiita sauman valamiseen saumamassalla. Valun täytyy tapahtua kuivaan saumaan kuivalla säällä. Tämän takia valutyöhön ei päästy heti sauman puhdistamisen jälkeen, vaan jouduttiin odottamaan sopivaa säätä useamman päivän ajan. Valutyöt tehtiin lopulta kahtena eri päivänä viikon sisällä. Ensimmäisenä valupäivänä 7.10.1993, jolloin valettiin 10 saumaa massalla F, sää oli kuiva ja ilman lämpötila +13°C, tien lämpötila +15°C. Loput saumat valettiin 12.10.1993. Tällöin sää oli kuiva ja ilman ja tien lämpötilat noin +5°C.



Kuva 6. Koesauman sahaus.



Kuva 7. Kumilistan asennus.



Ennen valua saumat puhdistettiin vielä kertaalleen paineilmalla ja kosteat saumat kuivattiin kuumailmapuhaltimella. Pohjanauhallisiin saumoihin asennettiin halkaisijaltaan 10 mm oleva pyöreä pohjanauha. Massalla A saumattaviin saumoihin siveltiin ennen valua primer parantamaan tartuntaa valmistajan ohjeiden mukaisesti.

Itse sauman valu kuumamassalla tapahtui siten, että tiinussa lämmitetty noin 200-220 °C kuuma massa kaadettiin nokallisesta kannusta saumaan. Tarpeen vaatiessa, jos sauma ei täyttynyt ensimmäisellä kerralla, valu toistettiin välittömästi toisen kerran. Valun yhteydessä selvisi, että käytetty pohjanauha ilmeisesti suli kuuman saumamassan alla aiheuttaen kuplintaa massassa. Kuvassa 9 on kuplinta havaittavissa.

Valun jäähtyttyä olisi saumasta tien pinnan yli jäänyt massa pitänyt poistaa mutta käytetyillä saumamassoilla ei tämä työ onnistunut. Massat olivat luonteeltaan niin sitkeitä ja kumimaisia, että niiden ylijäämiä ei onnistuttu leikkaamaan pois.

Saumamassan H saumaustyön teki massan edustaja. Saumat oli valmisteltu samalla tavalla kuin muutkin massoilla saumattavat saumat. Kaikissa kylmämassalla saumatuissa koesaumoissa oli pohjanauha.

Ensin sauman kosteus tarkastettiin, jonka jälkeen saumaan siveltiin primer. Tämän jälkeen kylmävalumassa pursotettiin saumaan erityisellä paineilmalaitteella. Lopuksi sauma viimeisteltiin tasoittamalla massa pari millia tienpinnan alapuolelle.

Kylmävalumassa erosi myös kovettumisen suhteen kuumavalumassoista. Kuumavalumassat kovettuvat heti jäähtyessään, kun taas kylmävalumassa kovettuu huomattavasti hitaammin kemiallisella reaktiolla.





Kuva 8. Sauman valu kuumavalumassalla.



Kuva 9. Valmista koesaumaa.



### 3.6 Koesaumojen kunnon seuraaminen kenttätutkimuksen aikana

#### 3.6.1 Ensimmäinen tarkastuskäynti

Ensimmäinen tarkastuskäynti Nurmijärven betonitien koesaumoilla tehtiin 28.12.1993. Aikaisemmissa liikkuvasta autosta tehdyissä tarkastuksissa ei silmämääräisesti näkynyt mitään vaurioita koesaumoissa. Tällä kertaa tarkastus tehtiin tien piennarta pitkin kävellessä.

Koesaumoissa ei näkynyt mitään vaurioita vaan ainoastaan nastarengaskulutuksen merkkejä. Syksyllä valun yhteydessä massalla E jääneet ylijäämät olivat pääsääntöisesti kuluneet pois. Kuluminen oli ollut vähäisempää massoilla A ja F.

Kaikki massat ja listat olivat edelleen paikoillaan saumoissa. Kumilistasaumamat olivat peittyneet liasta ja jäädä, joten listat eivät olleet näkyvissä. Myös massat E ja F olivat paikoillaan saumassa, vaikka valun jälkeen massojen, erityisesti massan F, tartunta betoniin oli huono. Tartunta oli edelleen huono, sillä massan saattoi nostaa käsin irti saumasta.

Olosuhteet tiellä olivat hyvät tarkastuskäyntiä ajatellen. Pakkasta oli noin  $-15^{\circ}\text{C}$  ja tie oli lumeton. Saumojen leviäminen pakkasessa laattojen kutistuessa oli selkeästi havaittavissa. Syksyllä 13 mm leveä listan X sauma oli nyt 16,5 mm leveä. Aiemmin kappaleessa 2.2 esitetyllä kaavalla 1 laskettuna sauman leveyden tulisi kasvaa 1,8 mm, kun sauman sahauspäivän lämpötila ja tarkastuskäynnin lämpötilan ero oli  $30^{\circ}\text{C}$ . Sauma siis leviää todellisuudessa enemmän kuin teoreettisesti on laskettu. Kuumavalumassat olivat kovettuneet pakkasessa, kun taas kylmävalumassa H oli joustavuudeltaan samanlaista kuin huoneenlämmössä.

#### 3.6.2 Toinen tarkastuskäynti

Toinen tarkastuskäynti Nurmijärvelle tehtiin 3.2.1994. Edellisen tarkastuskäynnin jälkeen liikkuvasta ajoneuvosta tehdyissä tarkastuksissa ei havaittu vielä mitään vaurioita koesaumoissa. Sää tiellä oli jälleen kylmä, ilman lämpötila oli  $-17^{\circ}\text{C}$  ja tien  $-14^{\circ}\text{C}$ .

Ensimmäisellä kerralla havaittu ylijäämämassojen kuluminen oli edennyt ja kaikilla massoilla oli ylijäämät kuluneet lähes kokonaan pois rengasurien kohdalta. Muuten koesaumamat olivat ilman vaurioita. Poikkeuksena massa H, joka tuntui osittain irronneen sauman betoniseinämistä. Tosin massa oli pysynyt

hyvin saumassa.

Kumilistat olivat edelleen jään ja lian peittämiä mutta kahdessa saumassa, joissa oli lista X, oli lista esillä parinkymmenen sentin matkalla. Näin pystyttiin tekemään joitain havaintoja listoista. Kohtalaisen kovan pakkasen takia 13 mm levyiseksi sahattu sauma oli nyt 16 mm leveä, minkä takia lista oli löysästi saumassa. Listan X leveys vapaana on 15 mm. Tästä huolimatta lista oli vielä paikoillaan saumassa.

Vaikka koesaumoissa ei havaittu vaurioita, niin alkuperäiset saumat olivat vaurioituneet edellisen tarkastuskerran jälkeen selvästi. Useissa saumoissa saumamassa oli irronnut saumasta ja katkeillut palasiksi. Todennäköistä on, että nämä saumat ovat korjauksen tarpeessa vuoden 1994 aikana.



UUSI



2. TARKASTUSKERTA

Kuva 10. Massalla E saumattua saumaa heti valun jälkeen ja toisella tarkastuskäynnillä.



### 3.6.3 Kolmas tarkastuskäynti

Kolmannen kerran koesaumot käytiin tarkastamassa 16.3.1994. Saumojen ylijäämien kuluminen oli jatkunut. Varsinaisia vaurioita ei ollut syntynyt. Sen sijaan alkuperäiset saumat olivat useista kohdin pahasti vaurioituneet, eli saumamassa oli katkeillut ja massa ja nauha olivat irtonaisina paloina saumassa. Lämpötila oli tien pinnassa 0°C ja ilmassa -1°C.

Saumalistat olivat pysyneet paikoillaan saumoissa siitä huolimatta, että ne olivat kovemmilla pakkasilla löysästi saumassa. Saumat olivat liian peittämät, eivätkä listat olleet juurikaan näkyvissä. Aikaisemmilla kerroilla mitatun sauman leveys oli tällä kertaa 14,9 mm, kun se alunperin on sahattu 13 mm leveäksi.

Kuumavalumassojen kuluminen oli jatkunut ja ylijäämät olivat kuluneet lähes kokonaan pois massalla E. Massan F tartunta betoniin oli huono, sillä massaa saattoi nostaa käsin saumasta irti. Massa E oli kulunut silmämääräisesti tarkasteltuna eniten. Massassa näkyi selvästi nastarenkaiden kulutus, sillä massan pinta oli kulunut hyvin epätasaiseksi. Massalla A valetut saumat olivat yleisesti paremmassa kunnossa kuin massoilla E ja F valetut saumat. Ennenkaikkea massa A oli paremmin kiinni saumassa.

Kylmänä massalla H valetut saumat olivat vauriottomia. Massan tartunta betoniin ei ollut hyvä, sillä massan ja sauman väliin pystyi työntämään avaimen.

### 3.7 Lopputarkastus

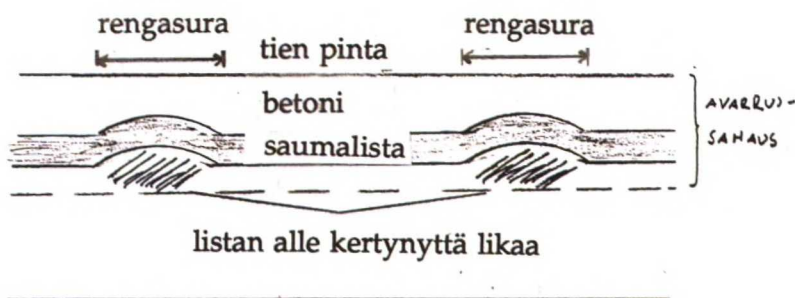
Kenttätutkimuksen koesaumojen lopputarkastus tehtiin 13.4.1994. Tarkastuksessa kiinnitettiin huomiota saumojen yleiseen kuntoon silmämääräisellä tarkastelulla. Lisäksi mahdolliset vauriot kartoitettiin ja erityistä huomiota kiinnitettiin saumamassan tartuntaan betoniin. Tarkastuksen aikana tien pinnan lämpötila oli 22°C ja ilman lämpötila 12°C.

Tarkastuksessa ei yhdessäkään koesaumassa havaittu varsinaisia vaurioita. Lähinnä esiintyi vain eriasteista kulumista ja puutteita tartunnassa. Pohjanauhan käytöllä ei ollut havaittavaa merkitystä saumoihin. Vaikuttaakin siltä, että puolen vuoden pituinen vain yhden talven ylittävä kenttäkoejakso on liian lyhyt, jotta saumamateriaalien kesken syntyisi eroja. Esimerkiksi kesällä tapahtuvan saumojen kutistumisen vaikutus jää selvittämättä ja onhan materiaalit tarkoitettu kuitenkin kestämaan saumoissa useamman vuoden. Seuraavassa on

kuitenkin esitetty lyhyet kommentit kustakin koesaumoissa käytetystä saumamateriaalista.

Kumilistat olivat pysyneet saumoissa paikoillaan, vaikka ne kovilla pakkasilla sauman ollessa leveimmillään olivatkin irti sauman seinämistä. Listan X, jonka profiili on umpinainen, alle oli ilmeisesti juuri kovien pakkasten aikana päässyt likaa ja kosteutta. Likaa oli kertynyt listan alle eniten rengasurien kohdalla. Tästä syystä lista oli noussut ylöspäin asennussyvyydestään rengasurien kohdalta. Kuvassa 11 on valokuva ja pelkistetty poikkileikkaus tästä ilmiöstä.

Kumilista Y, jonka profiili on avonainen, oli selvinnyt talvesta paremmin kuin lista X. Lista ei ollut liikkunut asennussyvyydestään, eikä listan alle ollut päässyt likaa eikä todennäköisesti kosteutakaan. Kenttätutkimuksen perusteella lista Y vaikuttaa soveliaammalta betonipäällysteen saumaan kuin lista X.



Kuva 11. Kumilistan nousu saumassa listan alle joutuneen lian takia ja pelkistetty poikkileikkaus tilanteesta.



Saumamassoista massat E ja F eivät olleet tarttuneet betoniin. Tästä huolimatta näillä massoilla saumatuissa koesaumoissa ei ollut vaurioita. Kulumista ei ollut tapahtunut juuri ollenkaan lukuunottamatta ylijäämien kulumista. Tosin massa E oli ulkonäöllisesti huonomman näköinen kuin massa F. Massan E pinta oli röpelöinen, koska pohjanauha suli valun yhteydessä. Sulaessaan pohjanauha sai aikaan kuplia saumamassaan. Aikaisemmilla tarkastuskerroilla arvellut nastarenkaiden repimisjäljet massassa E olivatkin siis lähemmin tarkasteltuina avoimia ilmakuplia. Primerin käyttö näillä kahdella massalla olisi ilmeisesti parantanut tartuntaa betoniin.

Kolmas kuumavalumassoista, massa A, oli säilyttänyt tartunnan betoniin. Kaikissa tällä massalla saumatuissa koesaumoissa massan tartunta betoniin oli hyvä. Kulumista ei ollut havaittavissa, vaan syksyllä jääneet ylijäämätkin olivat vielä pääosin jäljellä. Massan A ulkopinta oli tasaisempi kuin massojen E ja F. Tähän vaikuttaa se, että massan A valulämpötila oli alempi, jolloin pohjanauhallisissa saumoissa ei pohjanauha ole sulanut yhtä paljon. Pohjanauhan sulaminen aiheutti massoihin ilmakuplia, jotka näkyivät massojen pinnalla epätasaisuutena. Kaiken kaikkiaan massa A:sta jäi paras kokonaiskuva saumamassoista kenttätutkimuksessa.

Kenttätutkimuksessa olleessa kylmävalumassassa H oli eroja massan tartunnassa betoniin eri koesaumoissa. Saumassa, joka oli saumattu 2-3 mm betonin pinnan alle oli massan tartunta betoniin hyvä. Sen sijaan lähemmäs tien pintaa saumatuissa saumoissa oli massan tartunta betoniin paikoitellen huono. Massan saattoi jopa nostaa ylös saumasta. Vaikuttaakin siltä, että massa, jolla on suhteellisen pitkä kovettumisaika, on herkkä vaurioitumiselle, jos liikenne pääsee kuormittamaan massaa ennen lopullista kovettumista. Pinnan alle saumattu massa on suojassa renkaiden kuormitukselta, jolloin massa saa rauhassa kovettua.

### 3.8 Päätelmiä kenttätutkimuksesta

Yksi talvi on liian lyhyt aika kenttätutkimukselle, jotta saataisiin selviä eroja eri saumamateriaalien välille. Kuitenkin joitain päätelmiä voidaan kenttätutkimuksesta tehdä. Jos saumamateriaaleista pitäisi joku nostaa kenttätutkimuksen voittajaksi, olisi se kumilista, joka on profiililtaan avoin eli lista Y. Lista oli talven jäljiltä samassa kunnossa kuin mitä se oli heti asennuksen jälkeen. Tosin lista X asennettiin hieman liian leveään saumaan, joten ei ole tietoa olisiko oikein asennetun listan alle päässyt likaa ja kosteutta.



Saumamassoista massa A oli selvinnyt parhaiten kenttätutkimuksesta. Tällä massalla saumatuissa saumoissa ei ollut mitään moitittavaa. Massoissa E ja F vertailukelpoisuutta olisi parantanut primerin käyttö, jolloin tartunta betoniin olisi ollut varmasti parempi.

Tutkimustulosten tarkentamiseksi, ja jotta eri massojen välille saataisiin selviä eroja, olisikin mielenkiintoista jatkaa kenttätutkimuksen saumojen seurantaa vielä vähintään vuosi. Vuoden päästä keväällä voisi tilanne koesaumoissa olla toinen kuin nyt.

## 4. LABORATORIOTUTKIMUS

### 4.1 Yleistä

Betonipäällysteiden saumamateriaalien vertailututkimuksessa aineistollisesti laajimman osuuden muodosti laboratoriotutkimus. Tutkimuksessa oli mukana 10 saumamassaa ja kaksi saumalistaa. Laboratoriotutkimuksen voi jakaa kolmeen osaan: saumamassojen, sauman mittasuhteiden ja kumilistojen laboratoriotutkimuksiin.

Saumamassojen laboratoriotutkimuksessa selvitettiin massojen tartunta- ja venymisominaisuuksia saumassa eri betonin lujuuksilla ja eri lämpötiloissa. Tutkimuksessa jouduttiin tyytymään varsin suppeaan otokseen käytettävissä olevan ajan ja resurssien vuoksi. Kymmenen saumamassan täydelliseen laboratoriotutkimukseen olisi vaadittu vähimmilläänkin useita kuukausia aikaa ja lisäksi monimutkaisempi koelaitteisto, mm. temperoitu koetila. Mutta kaiken kaikkiaan tehty tutkimus antoi kuitenkin olosuhteisiin nähden hyviä tuloksia ja tutkimuksen tavoitteet saavutettiin.

Kumilistojen laboratoriotutkimuksessa aineisto oli pieni, sillä vertailtavina oli vain kaksi listaa. Käytettävissä olevilla tutkimuslaitteistoilla ei voitu tehdä tutkimuksia, joilla listoja olisi voitu vertailla laboratorio-oloissa saumamassoihin, vaan listojen ja massojen välinen vertailu jäi kenttätutkimuksen varaan.

### 4.2 Massatutkimuksen tavoitteet

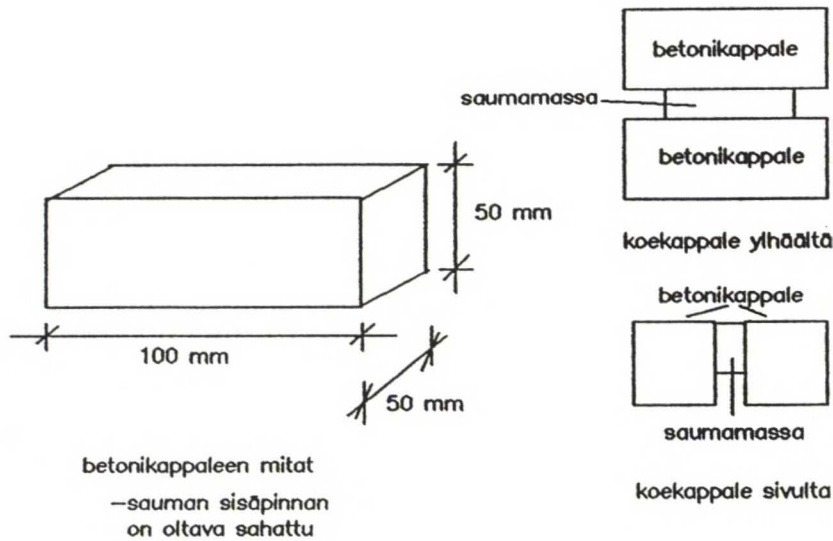
Tutkimuksessa selvitettiin saumamassojen osalta tartunta lujuusluokiltaan erilaisiin tiebetoneihin ja venymisominaisuuksia tutkimuslämpötiloissa. Lisäksi tutkittiin erilaisten saumamassojen mittasuhteiden vaikutusta edellä mainittuihin ominaisuuksiin. Tavoitteena ei ollut asettaa eri massoja paremmuusjärjestykseen, vaan erotella tutkittavista saumamassoista ne, jotka soveltuvat Suomen oloissa betonipäällysteiden saumamateriaaleiksi.

### 4.3 Massatutkimuksen koejärjestelyt

#### 4.3.1 Yleistä

Laboratoriokoe tehtiin vetokokeena, jossa kuvassa 12 esitettyä koekappaletta

kuormitettiin tasaisella vedolla, kunnes saumamassa irtosi tai halkesi. Koekappaleet temperoitiin ennen vetokoetta tutkimuslämpötilaan. Vetokokeesta tuloksiksi taltioitiin voimat ja venymät. Kokeessa sovellettiin saksalaisia normeja ja ohjeita "DIN 1996" ja "Technische Lieferbedingungen für bituminöse Fugenvergußmassen (TL bitFug 82)".



Kuva 12. Laboratoriotutkimuksen koekappale.

Laboratoriokoetta suunniteltaessa harkittiin koesaumojen altistamista säävaihteille sääkaapissa. Tätä varten tehtiin koe, jossa eri massoista valmistettuja koekappaleita säilytettiin sääkaapissa olosuhteissa, jotka vaihtelivat  $-10^{\circ}\text{C}$  ja noin  $+10^{\circ}\text{C}$  välillä, yli 100 kierrosta 10 vuorokauden ajan. Vertailuryhmän vastaavia kappaleita säilytettiin sama aika huoneenlämmössä. Koeryhmän ja vertailuryhmän välille ei saatu vetokokeessa eroja. Tämän perusteella sääkaappi-ideasta luovuttiin ja päätettiin tehdä laboratoriotutkimus toteutetulla tavalla.

#### 4.3.2 Laboratoriokokeen muuttujat

Muuttujia kokeessa oli kolme: saumamateriaalityyppi, betonin lujuus ja lämpötila. Saumamateriaaleja oli tutkimuksessa 12 eri tuotetta, joista kaksi oli kumilistoja ja loput kuuma- ja kylmämassoja. Koekappaleisiin käytettiin kahta eri lujuusluokkaa olevaa betonia. Betonit olivat lujuusluokiltaan K90 ja K50. Tutkimuslämpötiloja oli kaksi,  $-24^{\circ}\text{C}$  ja  $-4^{\circ}\text{C}$ .



#### 4.3.3 Koemäärät

Jokaista koetyyppiä tehtiin kolme rinnakkaiskoetta. Näin koemääräksi saumamassojen tutkimisessa tuli ilman sauman mittasuhteiden tutkimista  $10 \text{ massaa} \times 2 \text{ lämpötilaa} \times 2 \text{ betonin lujuutta} \times 3 \text{ rinnakkaiskoetta} = 120 \text{ vetokoetta}$ . Laboratoriotutkimus tehtiin saumamassoille kymmenenä sarjana.

#### 4.3.4 Materiaalitarve

Tutkimuksessa tarvittavia materiaaleja olivat saumamateriaalit ja betonikappaleet. Yhden koekappaleen materiaalityrve vakiosaumakoolla ( $9 \times 25 \times 70 \text{ mm}^3$ ) oli kaksi betonikappaleta ja noin  $17 \text{ cm}^3$  saumamassaa. Koko tutkimukseen saumamassojen osalta (ilman sauman mittasuhteiden tutkimista) tarvittiin betonikappaleita kumpaakin lujuutta 2 betonikappaleta/koekappale  $\times 60$  koetta/betonin lujuusluokka = 120 kpl. Lisäksi varattiin ylimääräisiä kappaleita noin 15 % kokonaismäärästä, joten betonikappaleita tarvittiin 140 kpl kumpaakin lujuusluokkaa. Saumamassaa tarvittiin vastaavasti  $2 \text{ lämpötilaa} \times 2 \text{ lujuutta} \times 3 \text{ rinnakkaiskoetta} \times 17 \text{ cm}^3 \approx 200 \text{ cm}^3$ . Lisäksi hävikkejä varten massaa on oltava varsinkin kuumamassojen osalta noin 40 % ylimääräistä, joten saumamassojen tarve oli noin 0,3 litraa kutakin tuotetta. Kylmämassojen tarve oli pienempi, koska massan hävikki oli pienempi.

#### 4.3.5 Koeaikataulu

Kaiken kaikkiaan kymmenen koesarjan läpivieminen kesti 6 viikkoa. Liitteessä 1 on esitetty koeaikataulu ja koesarjat.

### 4.4 Laitteisto ja materiaalit massatutkimuksessa

#### 4.4.1 Vetolaite

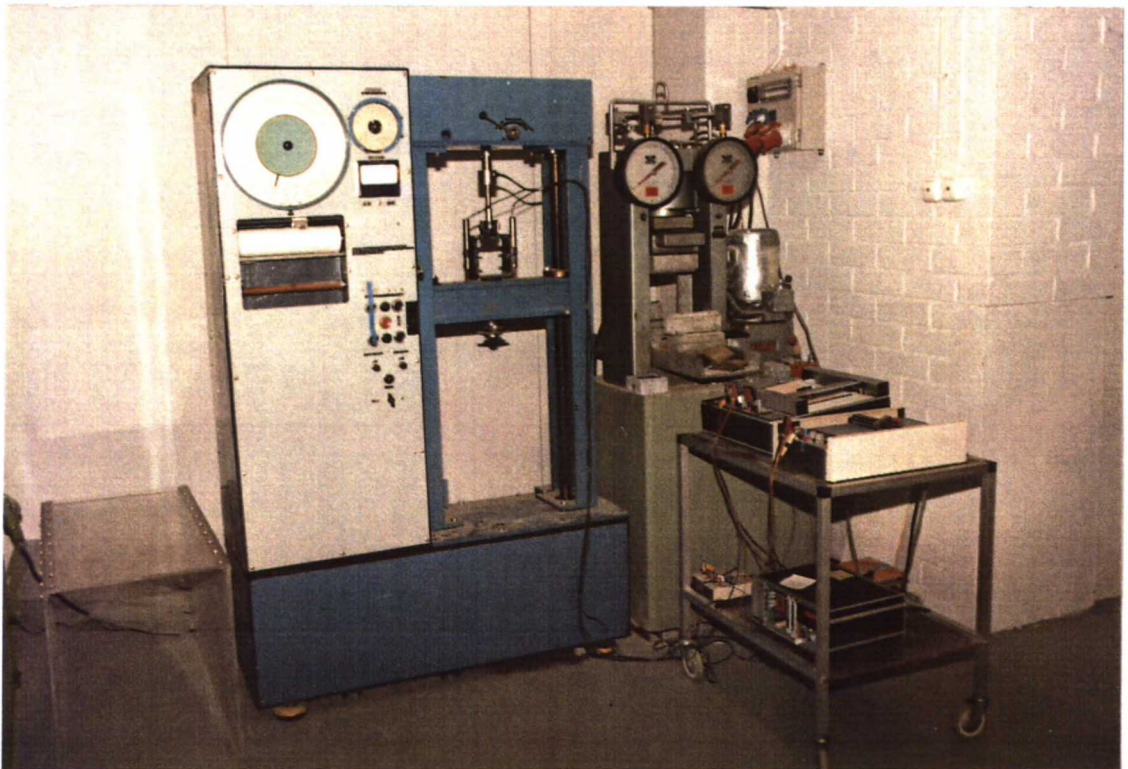
Vetolaite oli mekaaninen ZIL R-0,5 vetolaite. Laitteen toiminta perustuu pystysuoriin ruuveihin, joiden varassa on alempi palkki, jossa alaleuka on kiinni. Ruuvien pyöriessä alapalkki liikkuu ja vetävä voima koekappaleeseen saadaan aikaiseksi. Kuvassa 13 on vetolaitteisto mittauslaitteineen.

Vetolaitteeseen asennettiin tulosten tarkentamiseksi ja tallentamiseksi voimaanturi ja kaksi venymäanturia, jotka yhdistettiin piirtureihin. Venymäanturit mittasivat yläleuan etäisyyden muutosta alaleukaan nähden. Näiden kahden anturin keskiarvo vastasi koesauman keskimääräistä venymää. Venymäanturit

näkyvät kuvassa 13. Ne ovat vetoleukojen kummallakin sivulla olevat pitkänomaiset sylinterit. Voima-anturilla mitattiin vedon voima yläleuan varresta. Käytössä oli kaksi piirturia, yksi kummallekin venymäanturille. Voima-anturi oli yhdistetty vahvistimen kautta kumpaankin piirturiin. Myös voima-anturi näkyy kuvassa 13. Voima-anturi on paksu sylinterin muotoinen esine yläleuan varressa. Antureiden avulla jokaisesta kokeesta saatiin venymä-voimakäyrä. Piirturien käyristä laskettiin venymien ja voimien keskiarvot. Käytännössä olisi ollut helpompi, jos käytössä olisi ollut yksi kaksikanavainen keskiarvon laskeva piirturi. Kahdella piirturilla saatiin kuitenkin suurempi varmuus siitä, että saadaan edes jonkinlainen tulos häiriötapauksissa.

Vetolaitteiston edestä katsottuna oikeanpuoleiseen venymäanturiin oli yhdistetty Watanabe WX 1000 -piirturi. Venymäanturi oli merkiltään Sangamo/Schlumberger DC 25. Vasemmanpuoleisen venymäanturin (Sangamo/Schlumberger DC 25) tulostimena oli Linseis LY 17100 piirturi. Voima-anturin kapasiteetti oli 500 kg ja valmistaja Tokyo Sokki Kenkyujo. Voima-anturi oli yhdistetty piirtureihin Bivolt PK 30 -vahvistimen kautta.

Anturit ja piirturit kalibroitiin siten, että 1 mm:n venymä koesaumassa vastasi 5 mm:n X-akselin suuntaista siirtymää paperilla ja 0,25 kN:n voima vastasi 10 mm:n Y-akselin suuntaista siirtymää paperilla.



Kuva 13. Laboratoriotutkimuksen vetolaitteisto mittauslaitteineen.



#### 4.4.2 Kuumavalumassat

Laboratoriotutkimuksessa oli mukana kuusi kuumavalumassaa. Massat olivat pääasiassa bitumipohjaisia. Massojen kanssa käytettiin yhtä massaa lukuunottamatta maahantuojan tai valmistajan ohjeiden mukaisesti primeria. Primer siveltiin betoniin ennen valua parantamaan massan tartuntaa betoniin. Kuumavalumassojen valulämpötila oli 175-185°C.

Massa A on elastomeerein modifioitu bitumipohjainen saumamassa. Käyttökohteiksi valmistaja ilmoittaa vaakatasoisten betonisaumojen saumauksen tiepäälysteillä ja rakennusalalla. Tuotetietojen mukaan massa A kestää hyvin suolaa ja suolaliuosta ja mineraaliperustaisia happoja kuten esimerkiksi rikkihappoa. Sen sijaan massa liukenee mineraaliliuottimiin kuten kerosiini, petrooli ja bensiini.

Massat B ja D ovat bitumipohjaisia saumamassoja. Ensin mainittua on käytetty Suomessa betonipäälysteen saumaukseen. Näiden massojen tartunnan parantamiseksi betoniin siveltiin primeria ennen valua.

Massa C on erityisesti lentokentille kehitetty saumamassa. Massa on kerosiininkestävää. Tämän massan kanssa ei toimittajan ohjeiden mukaisesti käytetty primeria.

Massat E ja F ovat bitumipohjaisia saumamassoja. Näiden massojen kanssa käytettiin tartunnan parantamiseksi betoniin primeria. Primer oli muista primereistä poiketen kaksikomponenttituote.

#### 4.4.3 Kylmävalumassat

Kaksikomponenttimassat sekoitetaan nimensä mukaisesti kahdesta eri komponentista, joista toinen on varsinainen sauma-aine ja toinen kovetin. Tutkimuksessa kaksikomponenttisiä saumamassoja olivat massat G ja J.

Massa G on kreosiittiterva- ja polyuretaanipohjainen saumamassa. Massa on tarkoitettu valmistajan mukaan käytettäväksi monenlaisiin saumauksiin teollisuudessa ja rakennusalalla. Massa G ei valmistajan mukaan vahingoitu tavallisimmista mineraaliliuottimista eikä kasviöljystä, suolasta ja vedestä. Happoja ja emäksiä massa kestää näiden tyyppin ja voimakkuuden mukaan. Massan G kanssa käytettiin primeria.



Massa J on bitumipohjainen elastomeerimodifioitu saumamassa. Valmistajan mukaan massa soveltuu asfalttibetoni- ja betonipäällysteiden halkeamien korjaamiseen ja saumojen saumaamiseen.

Yksikomponenttimassat ovat sellaisenaan käyttövalmiita saumamassoja. Tutkimuksessa yksikomponenttisiä saumamassoja olivat massat H ja I.

Massa H on silikoniperustainen saumamassa. Käyttökohteita ovat valmistajan mukaan liikunta- ja muuhun saumaukseen rakennusalalla, kittaukseen ja erilaisiin tiivistyksiin. Massa H kestää tuotelehden mukaan useimpia kemikaa-leja ja happoja. Massa H:n kanssa käytettiin primeria parantamaan tartuntaa betoniin.

Massa I on kuiduin vahvistettu bitumipohjainen saumamassa. Valmistaja ilmoittaa käyttökohteiksi pienet halkeamat ja saumat asfalttibetoni- ja betonipäällysteissä. Massa kestää hyvin mietoja happoja ja emäksiä, mutta liuke-nee valmistajan tuotetietojen mukaan mineraaliliuottimiin.

#### 4.4.4 Betonit

Laboratoriotutkimuksessa käytettiin kahta puristuslujuudeltaan erilaista betonityyppiä. Betonit olivat lujuusluokiltaan K50 ja K90, joista K90 on ns. korkealujuusbetoni. Kumpikin betonityyppi oli tiebetoniksi suhteutettu. K90-betoni vastasi Nurmijärven koetiellä olevaa päällystettä.

Betonien valmistuksessa käytettiin kiviaineksena korkealuokkaista Ruduksen mursketta ja sementtinä tavallista Portlandsementtiä 40/28. K90-betonissa käytettiin lisäaineena silikaa korkean lujuuden saavuttamiseksi. K50-betonissa käytettiin lisäaineena notkistinta.

Betonikappaleet oli valmistettu 24.-25.11.1994, minkä jälkeen niitä säilytettiin kosteassa noin kaksi viikkoa Lohja Oy:ssä ja sen jälkeen kaksi viikkoa TKK:n betonilaboratorion kosteassa huoneessa 95 % kosteudessa. Neljän viikon kosteas-sa säilyttämisen jälkeen betonit olivat saavuttaneet täyden lujuutensa ja ne siirrettiin kuivumaan. Kuivumis- ja säilytyspaikka oli laboratoriotila, jossa lämpötila oli noin 20°C ja kosteus säilytyksen aikana 40-50 %.

Tutkimuksia betonien lujuusominaisuuksista ei tehty. Aikaisempien kokemusi-en perusteella samoilla resepteillä valmistettujen betonien puristuslujuus on ollut hyvin lähellä lujuusluokan ilmoittamaa puristuslujuutta.

## 4.5 Massatutkimuksen tekeminen

### 4.5.1 Koekappaleiden valmistaminen

Koekappaleet valmistettiin valamalla tai muuten täyttämällä kahden betonikappaleen väliin muoteilla oikean kokoiseksi tehty sauma. Sauman koko oli kuumamassoilla ja kaksikomponenttisilla kylmämassoilla (leveys  $\times$  syvyys  $\times$  pituus)  $9 \times 25 \times 70 \text{ mm}^3$  ja muilla kylmämassoilla valmistajan ohjeiden mukaan pienempi (massa H:  $9 \times 20 \times 70 \text{ mm}^3$ ; massa I:  $5 \times 40 \times 60 \text{ mm}^3$ ). Muotti koottiin kasviöljyllä voidellulla alumiinifoliolla päällystetyistä vaneririmoista ja pidettiin koossa liimapuristimilla.

Käytettäessä kuumamassoja lämmitettiin massoja kerralla tarvittava määrä valmistajan ilmoittamaan valulämpötilaan. Massaa pidettiin valulämpötilassa, kunnes se suli ja oli valmista valuun. Sulaa massa pidettiin valulämpötilassa korkeintaan puoli tuntia, jona aikana massa valettiin muottiin. Muotti voitiin purkaa noin 15 minuutin kuluttua valusta. Kerralla käytettiin vähintään neljää muottia. Kylmämassoilla massat valmistettiin ja muotit täytettiin valmistajan ohjeiden mukaan. Kylmämassojen hitaan kovettumisen takia oli jokaista saman päivän aikana tehtävää koekappaletta varten oltava oma muotti.

### 4.5.2 Koekappaleiden säilyttäminen ennen vetokoetta

Koekappaleita säilytettiin sauman valamisen jälkeen 12 vuorokautta huoneenlämmössä, jona aikana kylmämassat saavuttivat lopullisen lujuutensa. Tämän jälkeen kappaleet temperoitiin koelämpötilaansa kaksi vuorokautta. Eli 14 vuorokautta sauman valmistamisen jälkeen koekappaleet olivat valmiita vetokeeseen.

### 4.5.3 Vetokoe

Koekappaleille tehtiin vetokoe 14 vuorokautta saumojen valmistamisen jälkeen. Vetokoe tehtiin vetolaitteella, johon oli asennettu vetoleuat, joihin koekappale sopii.

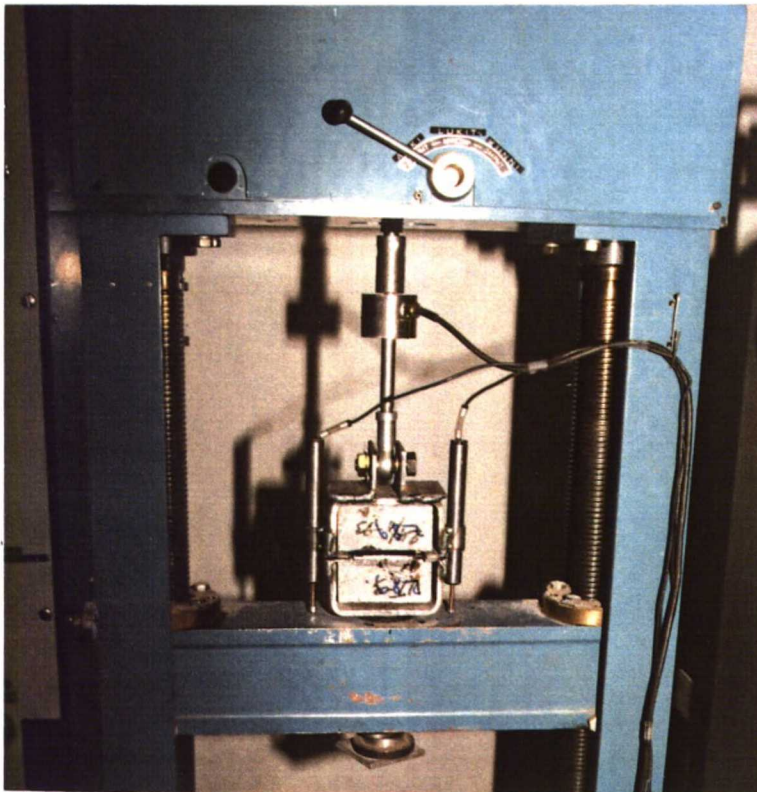
Koelämpötilaan temperoitu koekappale asetettiin vetolaitteen leukoihin, minkä jälkeen veto aloitettiin. Vetonopeudeksi säädettiin  $5 \text{ mm/min}$ . Ennen vetoa tarkistettiin voima- ja venymäanturit sekä piirturin valmius. Koe lopetettiin, kun massan irtoaminen alkoi tai massa halkesi. Massa saattoi alkaa irrota myös sauman keskeltä, jolloin irtoamista ei näe. Tällainen irtoaminen on kuitenkin havaittavissa äkillisessä voiman muutoksessa vedossa, vaikka ulkoisia irtoami-



sen tai massan halkeamisen merkkejä ei olisikaan näkyvissä.



Kuva 14. Valmiita koekappaleita



Kuva 15. Koekappale vetolaitteessa.

#### 4.6 Massatutkimuksen koetulosten laskeminen ja esittäminen

Koska massoilla oli erilaisia saumakokoja, laskettiin tuloksena saatu voima jännitykseksi eli muotoon voima / sauman pinta-ala ( $\text{kN}/\text{cm}^2$ ). Venymästä laskettiin myös suhteellinen venymä (%). Näin saatiin eri massojen tulokset vertailukelpoisiksi keskenään. Lopulliset tulokset ovat rinnakkaiskokeiden keskiarvoja.

#### 4.7 Saumamassojen laboratoriotutkimuksen tulokset

##### 4.7.1 Tulossuureiden esittely

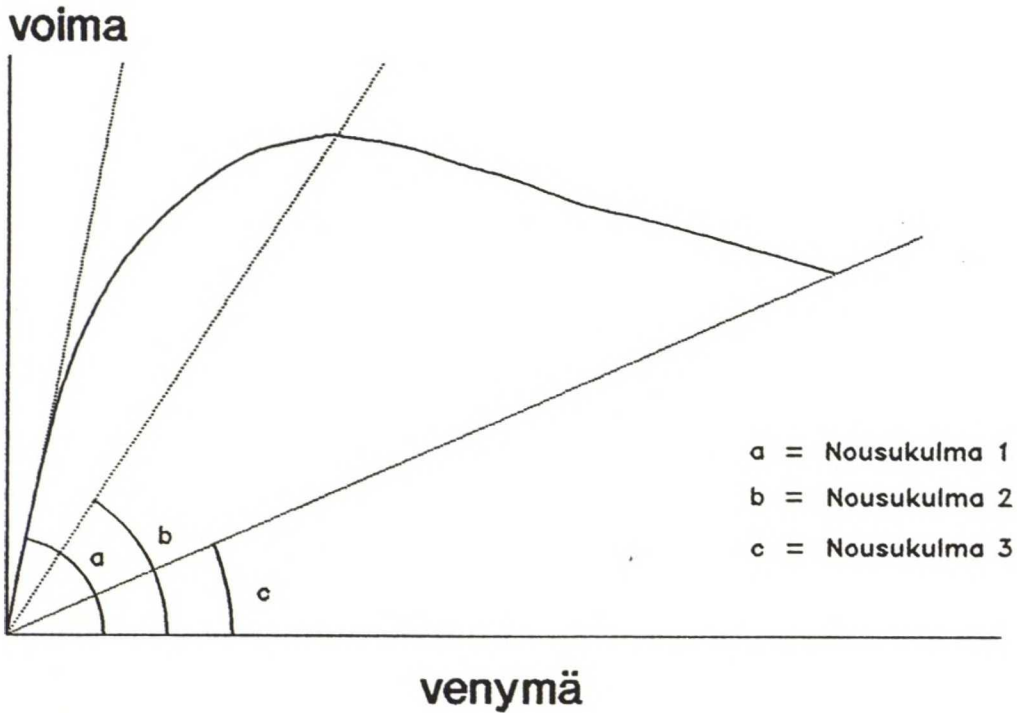
Tuloksina esitetyt suureet kuvaavat massan käyttäytymistä, venymistä ja tartuntaa betoniin eri lämpötiloissa. Ihannetulos olisi, jos löytyisi massa, joka venyy lämpötilasta riippumatta äärettömästi. Ihannemassaan ei myöskään syntyisi venyessä minkäänlaisia jännityksiä, jotka johtaisivat joko massan irtoamiseen betonista tai, jos irtoamista ei tapahdu, massan katkeamiseen.

Käyrän nousukulmaksi nimetyt kolme lukuarvoa kuvaavat vetokokeen venymävoimakäyrää. Koordinaatistona on X-Y-koordinaatisto, jonka mittasuhteet ovat seuraavat: 1 mm X-akselilla vastaa 0,2 mm:n venymää ja 10 mm Y-akselilla vastaa 0,25 kN voimaa. Käyrän nousukulma 1 on se kulma X-akselin suhteen, jolla käyrä alkaa nousta vetokokeen alussa. Nousukulma 2 on origosta voiman maksimiin vedetyn suoran kulma X-akselin suhteen ja nousukulma 3 on vastavasti origosta vetokokeen loppupisteeseen vedetyn suoran kulma X-akselista. Vetokokeen loppupiste on piste, jossa massa on alkanut irrota betonista tai massa on alkanut haljeta tai revetä tai massa on saavuttanut kokeen maksimivenymän 200%, jolloin koe on keskeytetty. Edellä esitetyn teoreettisen ihanne-massan venymä-voima käyrä olisi X-akselia kulkeva suora. Ihannemassan kaikki kolme nousukulmaa olisivat  $0^\circ$ . Eli mitä pienemmät nousukulmat ovat sitä hitaampia ovat jännityksen muutokset massassa vedon aikana. Voidaan siis olettaa, että massa, jossa jännityksen muutokset ovat mahdollisimman hitaita, kestää paremmin päällysteen laattojen lämpöliikkeistä johtuvia sauman leveyden muutoksia kuin massa, jossa jännityksen muutokset ovat nopeampia. Nousukulmat on havainnollistettu kuvassa 16.

Maksimivenymä on massan kokeessa saavuttama maksimivenymä (mm). Alkuperäinen sauman leveys ennen vetokoetta oli 9 mm kaikilla muilla massoilla paitsi yhdellä massalla, jonka sauman alkuperäinen leveys oli 5 mm. Mitä suurempi maksimivenymä on sitä paremmin massa kestää sauman muodon-



muutoksia. Koelämpötilassa  $-24^{\circ}\text{C}$  maksimivenymät jäivät kuumavalumassoilla pääsääntöisesti hyvin pieniksi, mutta tilanne ei todellisuudessa kuitenkaan ole näin lohduton. Laboratoriotutkimuksessa jouduttiin käytännön syistä käyttämään vetonopeutta, joka luonnollisiin oloihin verrattuna on suorastaan raju repäisy. Todellisissa oloissa massoilla olisi huomattavasti pidempi aika sopeutua sauman leveyden muutoksiin kuin laboratoriotutkimuksessa.

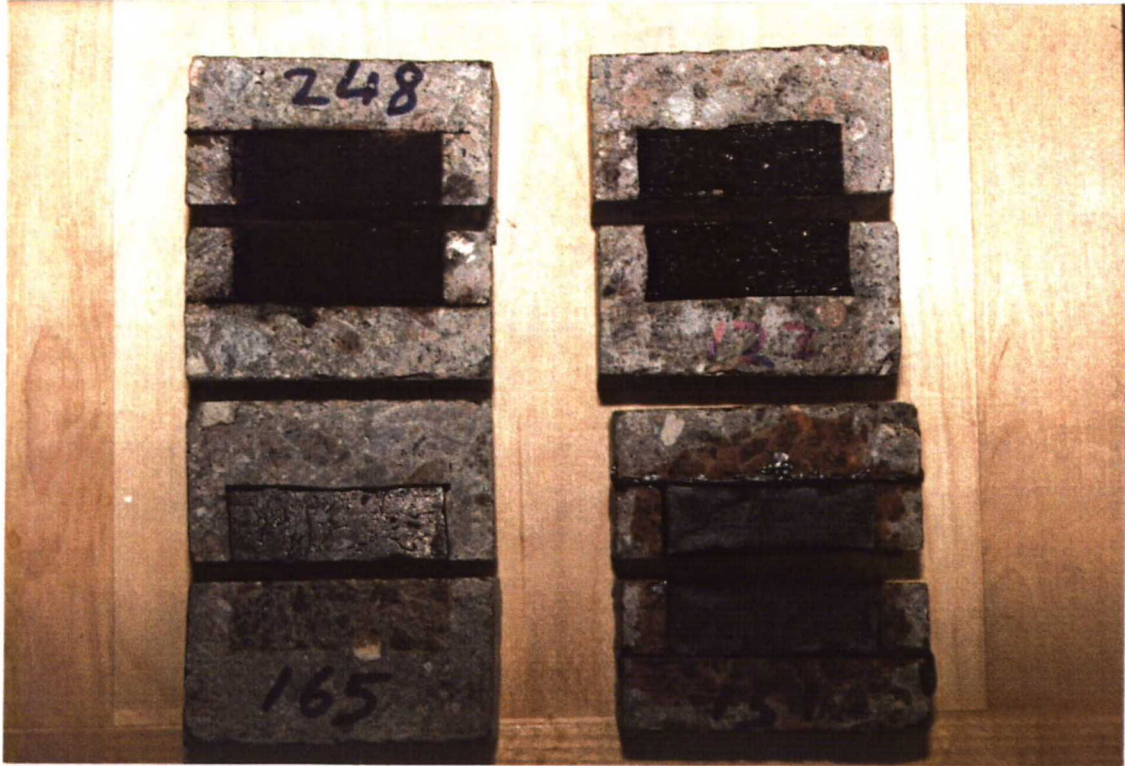


Kuva 16. Venymä-voimakäyrän nousukulmat.

Maksimijännitys (MPa) on koesaumassa vetokokeessa esiintynyt suurin vedon suuntainen jännitys, joka on laskettu jakamalla vedon maksimivoima sauman leikkauspinta-alalla. Suuri maksimijännitys ei ole massalle edullinen ominaisuus, sillä mitä suurempia jännityksiä saumassa olevassa saumamassassa esiintyy, sitä suurempi riski sauman vaurioitumiseen on.

”Tartunta betoniin” on indeksi, joka kuvaa nimensä mukaisesti massan tartuntaa betoniin koesaumassa. Indeksien arvo 1 vastaa tapausta, jossa massa ei ole irronnut betonista tai massa on haljennut tai revennyt vetokokeessa niin, että betoniin on jäänyt koko sauman alalta massaa. Indeksien arvo 3 vastaa tapausta, jossa massa on irronnut tai alkanut irrota vetokokeessa betonista siten, että betoniin ei ole jäänyt ollenkaan massajäämiä. Ilmiötä kutsutaan tässä raportissa puhtaaksi irtoamiseksi. Indeksien arvo 2 on näiden ääritapausten välimuoto, eli esimerkiksi massa on irronnut betonista mutta betoniin on jäänyt massaa kiinni osalle

sauman alasta.



Kuva 17. Erilaisia tartuntoja betoniin vetokokeessa.

Liitteeseen 2 on koottu laboratoriotutkimuksen saumamassatutkimuksen kaikki tulokset.

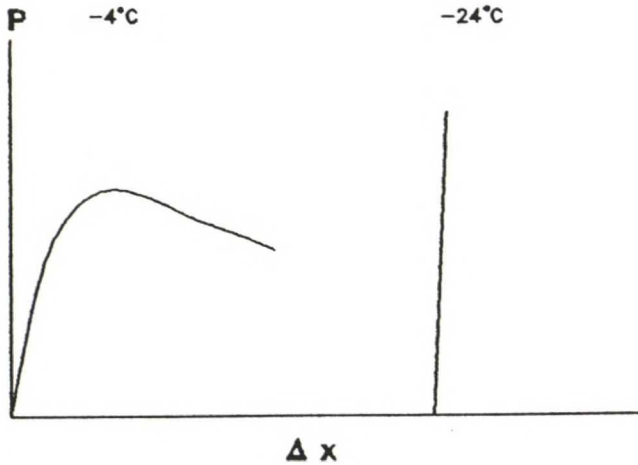
#### 4.7.2 Massa A

Koelämpötilassa  $-24^{\circ}\text{C}$  massalle oli ominaista vetovoiman nopea kasvu, joka päättyi massan äkilliseen halkeamiseen voiman maksimissa. Käyttäytymisellä ei vaikuta olevan betonin lujuudesta riippuvia eroja. Massan tartunta betoniin piti tässä lämpötilassa ja massa pääsääntöisesti halkesi keskeltä kahtia. Massassa esiintyvä jännitys  $-24^{\circ}\text{C}$  lämpötilassa oli tutkimuksen suurimpia. Lyötäessä ko. lämpötilassa olevaa massaa, lohkesi massasta paloja, mikä osoittaa massan olevan haurasta ja herkkää vahingoittumaan kylmässä. Näin tapahtui vain kahdelle tutkimuksessa mukana olleelle massalle. Muut massat eivät tulleet hauraiksi koelämpötiloissa.

Lämpötilassa  $-4^{\circ}\text{C}$  massassa A vetovoima nousi selvästi hitaammin maksimiin kuin kylmemmässä lämpötilassa. Voiman maksimin saavuttamisen jälkeen voima alkoi tyypillisesti laskea hitaammin kuin mitä se kasvoi maksimiin.



Vedon jatkuessa alkoi massa irrota betonista. Tässä lämpötilassa kummallakin betonilaadulla irtoaminen tapahtui puhtaasti betonista eli betoniin ei jäänyt massajäämiä irronneille alueille. Ennen irtoamisen alkamista oli massa kummallakin betoniluokalla keskimäärin venynyt yli 100 % alkuperäisestä sauman leveydestä.



Kuva 18. Massalle A tyypilliset venymä-voimakäyrät.

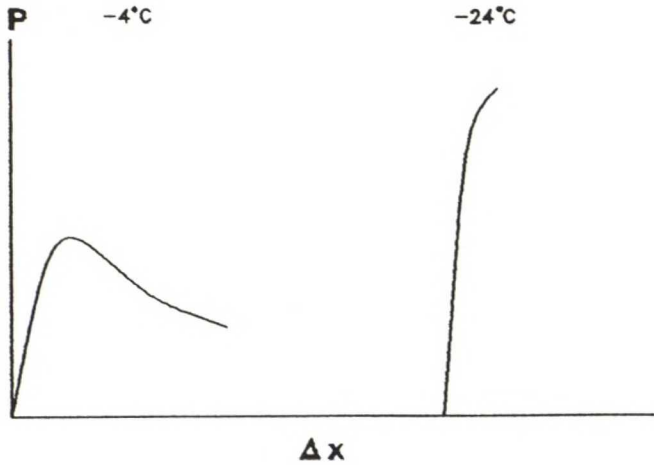
Taulukko 2. Massan A koetulosten keskiarvot.

| Betoni | Koelämpötila (°C) | Maksimi-venymä (mm) | Maksimijännitys (MPa) | Tartunta betoniin (1=hyvä...3=huono) |
|--------|-------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| K50    | -4                | 10,8                | 0,76                  | 3                                    |
| K50    | -24               | 0,7                 | 2,18                  | 1                                    |
| K90    | -4                | 13,4                | 0,77                  | 3                                    |
| K90    | -24               | 0,8                 | 2,08                  | 1                                    |

#### 4.7.3 Massa B

Tälle massalle oli tyypillistä, että koelämpötilassa -24°C vetokokeessa vedon voima kasvoi nopeasti maksimiin, jolloin massa osittain halkesi ja osittain irtosi betonista. Vaikuttaa siltä, että tartunta betoniin oli parempi lujuusluokan K50 betonissa. K50-betonissa maksimijännitykset olivat suurempia kuin K90-betonis-

sa samoin kuin maksimivenymät olivat suurempia. Kaiken kaikkiaan maksimijännitykset tässä lämpötilassa olivat massalla B tutkimuksen suurimpia. Suuret vetojännitykset heikentävät tämän massan tulosta. Mutta muuten massa vaikuttaa laboratoriotutkimuksen perusteella käyttökelpoiselta saumamassalta.



Kuva 19. Massalle B tyypilliset venymä-voimakäyrät.

Koelämpötilassa  $-4^{\circ}\text{C}$  vetovoima nousi suhteellisen nopeasti maksimiin, minkä jälkeen voima alkoi laskea hitaammin saumamassan venyessä. Venyminen päättyi yleensä siihen, että massa alkoi revetä joko yhdestä tai useammasta kohdin. Yhdessäkään kokeessa ei massan tartunta betoniin pettänyt kummankaan lujuusluokan betonissa. Tässä lämpötilassa massa B venyi vetokokeissa niin, että pienin rinnakkaiskokeen venymä oli noin 6 mm. Kenttäkokeen sauma levisi 30 asteen lämpötilan muutoksessa 3,6 mm.

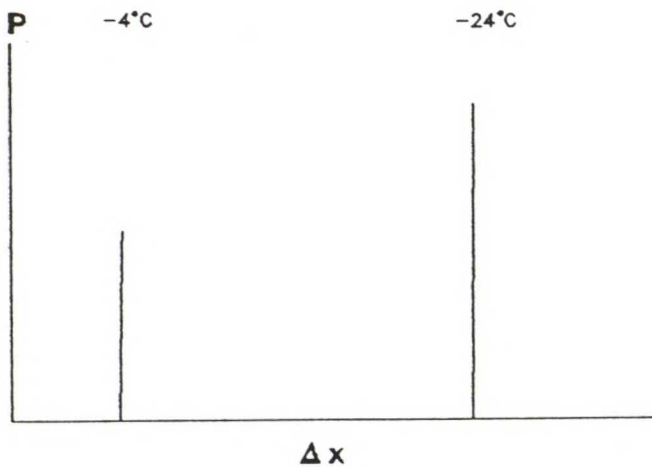
Taulukko 3. Massan B koetulosten keskiarvot.

| Betoni | Koelämpötila ( $^{\circ}\text{C}$ ) | Maksimivenymä (mm) | Maksimijännitys (MPa) | Tartunta betoniin (1=hyvä...3=huono) |
|--------|-------------------------------------|--------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| K50    | -4                                  | 9,8                | 0,57                  | 1                                    |
| K50    | -24                                 | 2,2                | 2,39                  | 2                                    |
| K90    | -4                                  | 10,9               | 0,54                  | 1                                    |
| K90    | -24                                 | 1,2                | 1,72                  | 2                                    |



## 4.7.4 Massa C

Massa C oli kuumavalumassoista selkeästi huonoimmin betonipäälysteiden saumamassaksi kelpaava massa. Riippumatta betonin lujuusluokasta tai koelämpötilasta massa käyttäytyi vetokokeessa aina samalla tavalla. Vedon voima nousi nopeasti maksimiin, jolloin massa irtosi saumasta täysin puhtaasti eli betoniin ei jäänyt massajäämiä. Massan tartunta betoniin oli siis niin huono, ettei massan venymisominaisuuksista saatu havaintoja. Ehkä mahdollinen primer olisi parantanut tartuntaa. Tosin jo  $-4^{\circ}\text{C}$  lämpötilassa massasta sai lyömällä lohkaistua paloja eli massa oli haurasta. Tässä lämpötilassa ei mistään muusta massasta lohjennut paloja ja  $-24^{\circ}\text{C}$  lämpötilassakin vain yhdestä toisesta massata sai lyömällä lohkottua paloja.



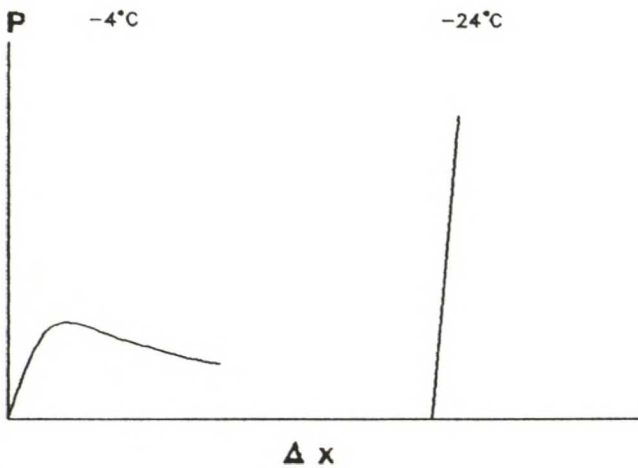
Kuva 20. Massalle C tyypilliset venymä-voimakäyrät.

Taulukko 4. Massan C koetulosten keskiarvot.

| Betoni | Koelämpötila ( $^{\circ}\text{C}$ ) | Maksimi-venymä (mm) | Maksimijännitys (MPa) | Tartunta betoniin (1=hyvä...3=huono) |
|--------|-------------------------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| K50    | -4                                  | 0,2                 | 0,41                  | 3                                    |
| K50    | -24                                 | 0,2                 | 0,51                  | 3                                    |
| K90    | -4                                  | 0,3                 | 0,57                  | 3                                    |
| K90    | -24                                 | 0,4                 | 0,61                  | 3                                    |

## 4.7.5 Massa D

Massa D oli ominaisuuksiltaan varsin paljon samantapainen kuin massa B. Koe-  
lämpötilassa  $-24^{\circ}\text{C}$  vetokokeessa vedon voima nousi nopeasti maksimiin, jolloin  
massa osittain irtosi betonista ja osittain halkesi kahtia. Betonin lujuuden ollessa  
K50 olivat maksimijännitykset tässä lämpötilassa suuremmat kuin betonin olles-  
sa luokkaa K90. Tästä voinee päätellä, että massan tartunta lujuusluokan K50  
betoniin oli parempi. Tilastollinen tarkastelu ei kuitenkaan tue tätä olettamusta.



Kuva 21. Massalle D tyypilliset venymä-voimakäyrät.

Lämpötilassa  $-4^{\circ}\text{C}$  ei vetokokeessa tullut esiin selviä betonin lujuusluokasta  
riippuvaisia eroja koesaumoissa. Kummassakin lujuusluokassa vetokokeen veto-  
voiman noustua maksimiin alkoi voima laskea hitaammin massan venyessä  
saumassa. Koe keskeytettiin joko massan alkaessa osittain repeillä ja osittain  
irrota betonista tai kun massa oli venynyt 200 %. Massan tartunta betoniin oli  
varsin hyvä, jopa niin hyvä, että K50-betonista irtosi yhdessä rinnakkaiskokeista  
pala betonia jääden massaansa kiinni. Massa venyi  $-4^{\circ}\text{C}$  lämpötilassa keskimäärin  
yli 150 % sauman alkuperäisestä leveydestä.



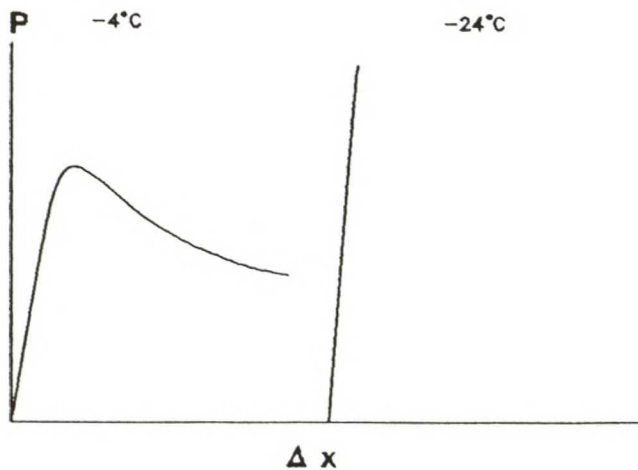
Taulukko 5. Massan D koetulosten keskiarvot

| Betoni | Koelämpötila (°C) | Maksimi-venymä (mm) | Maksimijännitys (MPa) | Tartunta betoniin (1=hyvä...3=huono) |
|--------|-------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| K50    | -4                | 13,8                | 0,89                  | 1                                    |
| K50    | -24               | 0,8                 | 2,20                  | 2                                    |
| K90    | -4                | 15,1                | 0,49                  | 1                                    |
| K90    | -24               | 0,5                 | 1,26                  | 2                                    |

## 4.7.6 Massa E

Massan E käyttäytyminen koelämpötilassa -24°C oli vetokokeessa tyypillinen kuumamassoille. Vetovoima nousi nopeasti maksimiin, jolloin massa pääasiassa halkesi mutta osin myös irtosi betonista, joten tartuntaa voidaan pitää kokonaisuutena hyvänä tässä lämpötilassa.

Massan E venymisominaisuudet -4°C koelämpötilassa olivat hyvät. Betonin lujuusluokan ollessa K90 kaikissa koesaumoissa saavutettiin 200 % venymä. Koesaumoissa, joissa oli K50-betoni, päästiin keskimäärin noin 130 % venymiin. Vetokokeessa -4°C koelämpötilassa vedon voima nousi melko nopeasti maksimiin ja alkoi tämän jälkeen laskea hitaasti, kunnes veto useimmiten keskeytettiin 200 % venymään. Maksimijännitykset tässä lämpötilassa olivat kummassakin betoniluokassa tutkimuksen korkeimmat.



Kuva 22. Massalle E tyypilliset venymä-voimakäyrät.

Taulukko 6. Massan E koetulosten keskiarvot.

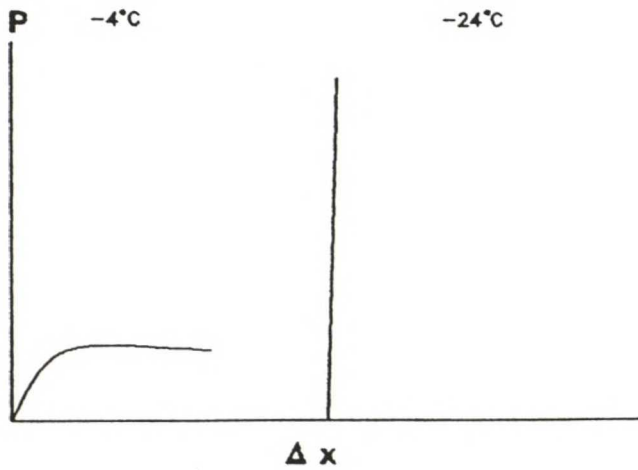
| Betoni | Koelämpötila (°C) | Maksimi-venymä (mm) | Maksimijännitys (MPa) | Tartunta betoniin (1=hyvä...3=huono) |
|--------|-------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| K50    | -4                | 11,5                | 1,12                  | 2                                    |
| K50    | -24               | 0,6                 | 1,63                  | 1                                    |
| K90    | -4                | 18,0                | 0,98                  | 1                                    |
| K90    | -24               | 0,5                 | 1,66                  | 2                                    |

## 4.7.7 Massa F

Koelämpötilan ollessa vetokokeessa -24°C massa F käyttäytyi tyypillisesti kuumavalumassojen tapaan. Voima nousi nopeasti maksimiin, jolloin massa osin halkesi ja osin irtosi betonista. Erona samantyyppiseen massaan E, jolla venymä-voimakäyrä nousi lineaarisesti maksimiin, massalla F käyrä alkoi kaartua ennen maksimivoiman saavuttamista. Massan tartunta betoniin oli kohtalainen. Maksimijännitykset olivat kuumavalumassojen alhaisimpia.

Koelämpötilan ollessa -4°C massan F venymisominaisuudet olivat hyvät. Betonin lujuuden ollessa K90 kaikki rinnakkaiskokeet saavuttivat 200 %:n venymän ja K50-betonilla vain yksi rinnakkaiskoe ei saavuttanut 200 %:n venymää, tosin tämänkin rinnakkaiskokeen maksimivenymä oli yli 170 %. Vetokokeessa vetovoima kasvoi melko hitaasti maksimiin, minkä jälkeen voima alkoi laskea hyvin hitaasti. Voima pysyi lähestulkoon vakiona vedon loppuun asti. Koelämpötilassa -4°C massan F massan nousukulmat olivat selvästi pienimmät kuumavalumassoista, eli massa oli tässä lämpötilassa kuumavalumassoista lähimpänä ihannemassaa. Betonin lujuuden ollessa luokkaa K90 vedon voima kasvoi nopeammin maksimiin kuin lujuusluokan ollessa K50 (nousukulmat 1 ja 2 ovat suurempia). Tämän massan maksimijännitykset olivat myös kuumavalumassojen pienimmät.





Kuva 23. Massalle F tyypilliset venymä-voimakäyrät.

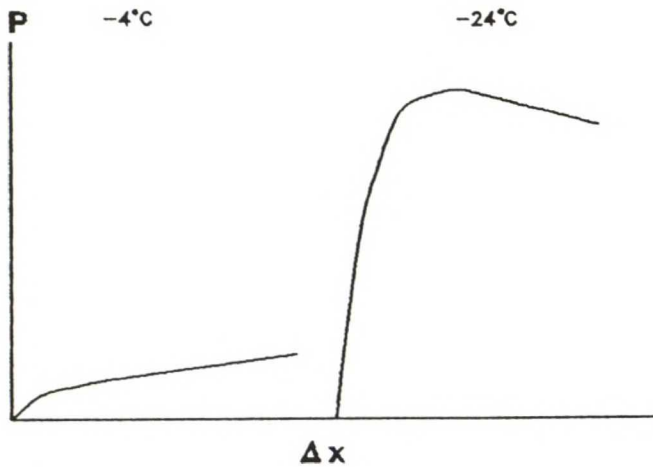
Taulukko 7. Massan F koetulosten keskiarvot.

| Betoni | Koelämpötila (°C) | Maksimi-venymä (mm) | Maksimijännitys (MPa) | Tartunta betoniin (1=hyvä...3=huono) |
|--------|-------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| K50    | -4                | 17,2                | 0,31                  | 1                                    |
| K50    | -24               | 1,5                 | 1,24                  | 2                                    |
| K90    | -4                | 18,0                | 0,32                  | 1                                    |
| K90    | -24               | 1,2                 | 1,22                  | 2                                    |

#### 4.7.8 Massa G

Venymisominaisuudet massalla G olivat parhaimpia tutkimuksessa mukana olleista saumamassoista. Koelämpötilan ollessa -24°C tämä massa venyi kuumassakin betonin lujuusluokassa kaksi koetta kolmesta 200 %, jolloin kokeet keskeytettiin. Tapauksessa, jossa venymä jäi pienemmäksi, alkoi massa irrota betonista. Venymä-voimakäyrän muoto massalla tässä lämpötilassa poikkesi, kuten pääsääntöisesti muillakin kylmävalumassoilla, kuumavalumassoista selvästi. Vedon voima nousi hitaammin maksimiin ja maksimin saavuttamisen jälkeen voima alkoi hitaasti laskea saumamassan venyessä.

Koelämpötilan ollessa  $-4^{\circ}\text{C}$  vetokokeessa vedon voima kasvoi hitaasti ja jatkuvasti kunnes koe keskeytettiin. Tässäkin lämpötilassa massan G venymisominaisuudet olivat parhaimpia tutkituista. Betonin lujuusluokalla ei vaikuta olevan merkitystä sauman käyttäytymiseen tässä lämpötilassa. K90-betonilla kaikki kokeet keskeytettiin 200 %:n venymään ja betonin lujuudella K50 yksi koe lopetettiin aikaisemmin venymän ollessa silloinkin yli 180 %.



Kuva 24. Massalle G tyypilliset venymä-voimakäyrät.

Massalla G tehtiin vielä lisätutkimus, kun kahta eri lämpötiloissa koestettua betonin lujuusluokaltaan K50 olevaa koekappaletta rasitettiin vetokokeessa useampia kertoja peräkkäin. Kappaleet temperoitiin koelämpötilaan uudestaan vähintään vuorokausi ennen uutta vetokoea. Näissä kokeissa koelämpötilan ollessa  $-24^{\circ}\text{C}$  ei vetokokeiden tuloksissa ollut eroja, kunnes kolmannessa vetokokeessa massa alkoi irrota betonista noin 100 %:n venymän kohdalla. Koelämpötilassa  $-4^{\circ}\text{C}$  vetokoe tehtiin neljä kertaa ja joka kerta saavutettiin 200 %:n venymä.

Taulukko 8. Massan G koetulosten keskiarvot.

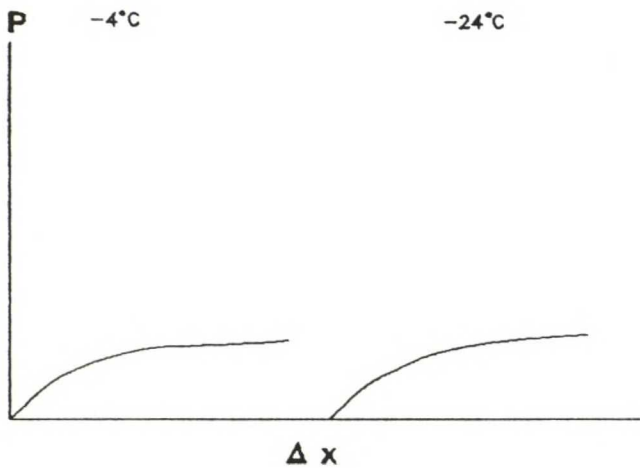
| Betoni | Koelämpötila ( $^{\circ}\text{C}$ ) | Maksimi-venymä (mm) | Maksimijännitys (MPa) | Tartunta betoniin (1=hyvä...3=huono) |
|--------|-------------------------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| K50    | -4                                  | 18,0                | 0,20                  | 1                                    |
| K50    | -24                                 | 15,0                | 0,74                  | 1                                    |
| K90    | -4                                  | 17,6                | 0,37                  | 1                                    |
| K90    | -24                                 | 17,4                | 0,79                  | 1                                    |



## 4.7.9 Massa H

Massan H sauman mittasuhteet poikkesivat muista koesaumoista. Sauman syvyys oli 20 mm normaalin 25 mm:n sijasta. Vielä 20 mm:kin on valmistajan antamaa maksimisyvyyttä suurempi, mutta päällysteolosuhteita ajatellen valmistajan suosittama sauman syvyyden maksimiarvo 10 mm tuntuu liian pieneltä.

Massalla H ei vetokokeen tuloksilla vaikuta olevan merkittäviä betonin lujuudesta tai koelämpötilasta riippuvaisia eroja. Kaikissa kokeissa vedon voima nousi hitaasti lähelle maksimia ja jatkoi sen jälkeen nousua erittäin hitaasti, eli massa venyi lähes vakiovoimalla kunnes koe keskeytettiin. Keskimäärin huonoimmillaankin maksimivenymä oli noin 150 %. Tartunta betoniin oli hyvä, sillä yhdessäkään kokeessa ei massa irronnut betonista puhtaasti. Massan venymävoimakäyrät muistuttivat kaikista tutkimuksessa mukana olleista massoista eniten ihannemassaa.



Kuva 25. Massalle H tyypilliset venymä-voimakäyrät.

Taulukko 9. Massan H koetulosten keskiarvot.

| Betoni | Koelämpötila (°C) | Maksimi-venymä (mm) | Maksimijännitys (MPa) | Tartunta betoniin (1=hyvä...3=huono) |
|--------|-------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| K50    | -4                | 13,1                | 0,36                  | 1                                    |
| K50    | -24               | 16,6                | 0,40                  | 1                                    |
| K90    | -4                | 17,8                | 0,38                  | 1                                    |
| K90    | -24               | 17,0                | 0,47                  | 1                                    |

#### 4.7.10 Massa I

Massa I on yksikomponenttinen bitumipohjainen saumamassa. Massan pääasiallinen käyttötarkoitus on valmistajan ohjeiden mukaan pienten halkeamien ja muiden vastaavien vaurioiden korjaaminen asfaltti- ja betonipäällysteissä. Valmistajan ohjeiden mukaan saumattavan kohdan sekä maksimisyvyys että maksimileveys ovat 6,35 mm. Tässä tutkimuksessa massalla I tehtiin koesaumojen mitat (leveys  $\times$  pituus  $\times$  syvyys) olivat  $5 \times 60 \times 40 \text{ mm}^3$  ja  $5 \times 60 \times 10 \text{ mm}^3$ .

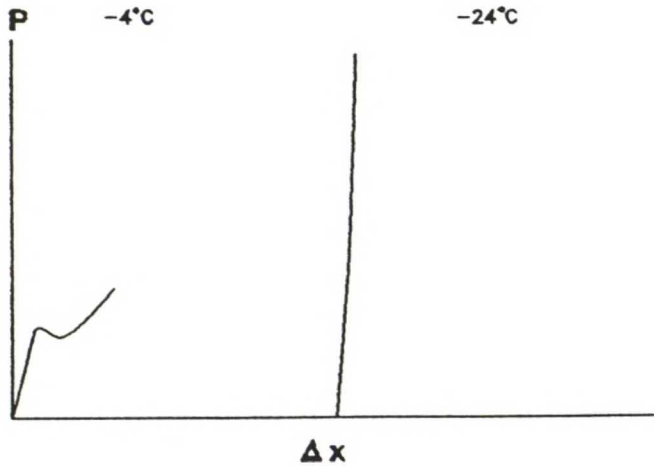
Koesaumojen valmistamisessa oli suuria vaikeuksia. Massa oli pakattu putkiloon, josta massa puristetaan prässillä ulos. Tässä tapauksessa massa ei kuitenkaan tullut putkilosta ulos prässillä vaan putkilo jouduttiin leikkaamaan kyljestä auki. Olomuodoltaan massa oli paksua ja jäykkää, joten sen saaminen kapeaan ja syvään saumaan oli vaikeaa ja tästä syystä koesaumat eivät olleet tasalaatuisia. Vaikutti siltä kuin massa olisi yli-ikäistä, koska sen työstettävyyttä oli niin vaikeaa.

Vetokokeessa venymä-voimakäyrät olivat varsin epämääräisiä ja päätelmiä eri betoninlujuuksien vaikutuksesta saumaan ei pystytty tekemään. Maksimi-venymät olivat parhaimmillaankin  $-4^\circ\text{C}$  koelämpötilassa keskimäärin noin 50 % ja  $-24^\circ\text{C}$  koelämpötilassa noin 60 %. Millimetreinä nämä luvut vastaavat noin kahta millimetriä, mikä teoreettisesti betonipäällysteessä vastaa noin  $30^\circ\text{C}$  lämpötilan alenemisesta johtuvaa sauman laajenemista, kun saumaväli on 5 m.

Valmistajan mukaan massan I lopullinen kovettuminen kestää 30 vuorokautta. Tässä tutkimuksessa näitä koekappaleita säilytettiin huoneenlämmössä yli 30 vrk, ja silti massa ei ollut täysin kovettunut sauman keskeltä vaan se oli edel-



leen tahraavaa.



Kuva 26. Esimerkit massan I venymä-voimakäyristä.

Taulukko 10. Massan I koetulosten keskiarvot.

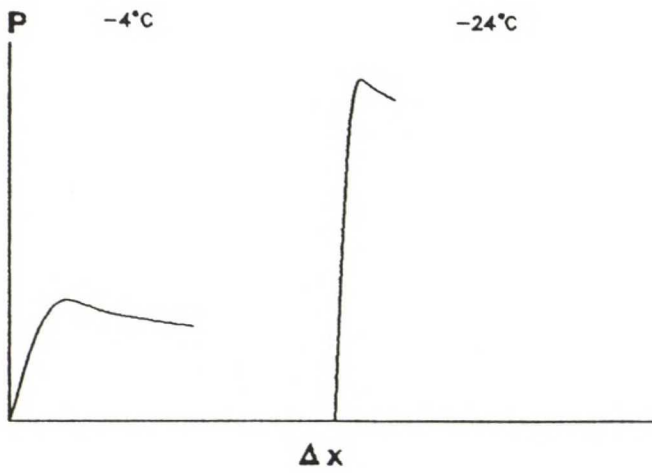
| Betoni | Koelämpötila (°C) | Maksimivenymä (mm) | Maksimijännitys (MPa) | Tartunta betoniin (1=hyvä...3=huono) |
|--------|-------------------|--------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| K50    | -4                | 0,3                | 0,34                  | 2                                    |
| K50    | -24               | 1,5                | 0,79                  | 2                                    |
| K90    | -4                | 2,0                | 0,24                  | 2                                    |
| K90    | -24               | 2,3                | 0,55                  | 2                                    |

#### 4.7.11 Massa J

Koelämpötilassa -24°C vedon maksimivoimat massalla J olivat suhteellisen pieniä, siten myös massassa esiintyvät vedon suuntaiset maksimijännitykset. Maksimivenymät tässä lämpötilassa olivat kummassakin betonin lujuusluokassa keskimäärin noin 30 % eli parempia kuin kuumavalumassoilla. Tartunta kummankin lujuusluokan betoniin oli kohtalaisen hyvä, sillä puhdasta irtoamisesta saumasta ei esiintynyt kuin yhdessä tapauksessa kuudesta. Yleensä vetokoe keskeytyi, kun massa alkoi revetä läheltä betonia niin, että betoniin jäi ohut

kerros massaa. Massan leikkauspinta oli huomattavan huokoinen.

Koelämpötilan ollessa  $-4^{\circ}\text{C}$  olivat massassa J esiintyvät vedon suuntaiset maksimijännitykset tutkimuksen pienimpiä. Tartunta betoniin oli kummassakin lujuusluokassa hyvä. Vain yhdessä rinnakkaiskokeessa betoniluokassa K90 massa alkoi irrota betonista, tällöinkin jäi irtoamiskohtaan ohut kerros saumamassaa. Maksimivenymät jäivät keskimäärin alle 100 %:n kummassakin betoniluokassa.



Kuva 27. Massalle J tyypillisiä venymä-voimakäyriä.

Taulukko 11. Massan J koetulosten keskiarvot.

| Betoni | Koelämpötila ( $^{\circ}\text{C}$ ) | Maksimivenymä (mm) | Maksimijännitys (MPa) | Tartunta betoniin (1=hyvä...3=huono) |
|--------|-------------------------------------|--------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| K50    | -4                                  | 7,0                | 0,29                  | 1                                    |
| K50    | -24                                 | 2,6                | 0,83                  | 2                                    |
| K90    | -4                                  | 8,0                | 0,31                  | 1                                    |
| K90    | -24                                 | 2,83               | 0,64                  | 2                                    |



## 4.7.12 Tulosten tilastollinen tarkastelu

Tilastollisesti on kunkin massan kohdalla tarkasteltu massan venymä- ja jännitystulosten riippuvaisuutta betonin lujuusluokasta. Tulokset on oletettu normaalijakautuneiksi. Tarkastelut on tehty Statistix® ohjelmistolla parittaisella t-testillä 95 %:n riskitasolla. Yksittäisten massojen tilastollisen tarkastelun luotettavuutta heikentää huomattavasti otoksen pienuus. Tarkastelun mukaan yhdelläkään laboratoriotutkimuksessa mukana olleella massalla eivät maksimivenymä ja -jännitys olleet merkitsevästi riippuvaisia betonin lujuusluokasta.

Tarkasteltaessa betonin vaikutusta maksimivenymään ja -jännitykseen kaikilla saumamassoilla yleisesti, löytyi yksi tapaus, jossa betonilla vaikuttaa oleva merkitystä tuloksiin. Parittaisen t-testin perusteella maksimivenymä on riippuvainen betonin lujuusluokasta koelämpötilassa -4°C. Nollahypoteesina oli, että maksimivenymän keskiarvot eivät poikkea toisistaan betonin lujuusluokissa K50 ja K90. Testin P-arvoksi saatiin kuitenkin 0,03, joka osoittaa, että 95 %:n varmuustasolla voidaan nollahypoteesi hylätä. Tässä tapauksessa betonin lujuusluokassa K90 maksimivenymän kaikkien massojen keskiarvo oli suurempi kuin lujuusluokassa K50. Tilastollisen tarkastelun tulos ei siis ainakaan vahvista sitä olettamusta, että korkealujuusbetonin käyttö päällysteenä vaikuttaa heikentävästi saumamassojen pysyvyyteen. Tosin noin pienen yksityiskohdan vaikutusta laajassa ongelmassa ei voida myöskään korostaa. On edelleen mahdollista, että korkealujuusbetonisissa päällysteissä saumamassat vaurioituvat herkemmin kuin matalampilujuuksisissa päällysteissä.

Tarkasteltaessa betonin merkitystä maksimivenymään ja -jännitykseen erikseen kuumavalumassojen ja kylmävalumassojen suhteen ei löytynyt tapauksia, joissa betonin lujuusluokalla olisi vaikutusta tuloksiin.

Maksimivenymän ja -jännityksen välistä korrelaatiota tutkittiin Statistix®-ohjelmistolla Pearsonin korrelaatiolla. Tulosten perusteella ilmeni, että kummassakin betonin lujuusluokassa esiintyi venymän ja jännityksen suhteen korrelaatiota, kun koelämpötila oli -24°C. Korrelaatiokertoimet olivat kummassakin tapauksessa negatiiviset eli mitä suurempi maksimivenymä sitä pienempi maksimijännitys ja päinvastoin. Korrelaatio oli tosin varsin heikkoa, mutta poikkesi kuitenkin merkitsevästi nolasta. Edellä esitetty tulos on havaittavissa erityisesti kylmävalumassoilla G ja H. Näillä massoilla oli koelämpötilassa -24°C muihin massoihin verrattuina suhteellisen pienet maksimijännitykset mutta suuret maksimivenymät.

Nousukulmien osalta tehtiin tilastollinen tarkastelu nousukulmien keskiarvojen korrelaatiosta maksimivenymään ja -jännitykseen kummassakin koelämpötilassa ja kummallakin betonin lujuudella. Tarkastelussa olivat mukana kaikki saumamassat. Nousukulmien keskiarvo kuvaa venymä-voimakäyrän yleistä muotoa massalla. Mitä pienempi keskiarvo on sitä matalampi ja loivempi käyrä on muodoltaan. Odotetusti nousukulmien keskiarvot korreloivat käänteisesti maksimivenymien kanssa. Korrelaatiokertoimet olivat koelämpötilassa  $-24^{\circ}\text{C}$  kummallakin betonin lujuudella noin  $-0,95$  ja koelämpötilassa  $-4^{\circ}\text{C}$  noin  $-0,80$ . Näissä tapauksissa korrelaatiokertoimet poikkesivat merkitsevästi nollasta. Eli mitä suurempi maksimivenymä on sitä matalampi ja loivempi venymä-voimakäyrä on. Vaikka tämä tulos on lähestulkoon itsestäänselvyys, niin sitä voidaan pitää merkittävänä siinä mielessä, että se vahvistaa laboratoriotutkimuksen luotettavuutta.

Pääsääntöisesti kaikissa koelämpötilan ja betonin lujuusluokan yhdistelmissä nousukulmat 1, 2 ja 3 korreloivat suoraan keskenään. Korrelaatiokertoimet poikkesivat merkitsevästi nollasta. Eli tuloksen perusteella yhden nousukulman ollessa pieni muutkin ovat ja päinvastoin. Tästä tuloksesta voidaan päätellä, että kun massassa olevat jännitykset ovat pieniä, niin massan venymä on suhteellisen suuri. Tämä vahvistaa päätelmää, että massa, jossa vedon suuntaiset jännitykset ovat pieniä, ei ole niin altis vaurioitumaan kuin massa, jossa jännitykset ovat suurempia. Tilastollisen tarkastelun tuloksia on koottu liitteeseen 3.

#### 4.8 Sauman mittasuhteiden laboratoriotutkimus

Laboratoriotutkimuksessa tutkittiin sauman mittasuhteiden vaikutusta tuloksiin. Kokeessa käytettiin K50 lujuusluokan betonia ja saumamassana massaa A. Koelämpötila oli  $-4^{\circ}\text{C}$ . Tutkitut mittasuhteet olivat (leveys (mm)  $\times$  syvyys (mm)):  $9 \times 35$  ja  $9 \times 25$  ja  $9 \times 13,5$ .

Nousukulmat olivat tutkimuksen perusteella sitä pienempiä mitä matalampi sauma oli. Eli syvyydeltään  $13,5$  mm:n sauman venymä-voimakäyrä oli lähimpänä teoreettista ihannemassaa, koska nousukulmat olivat vertailun pienimmät. Vastaavasti maksimivenymät kasvoivat mitä matalampi sauma oli. Jännitysten osalta  $13,5$  mm syvän sauman maksimijännitykset olivat pienimmät mutta  $25$  ja  $35$  mm syvillä saumoilla tulokset menivät ristiin. Sauman mittasuhteiden laboratoriotutkimuksen kaikki tulokset on koottu liitteeseen 4.



Tilastollisesti tarkasteltuina parittaisella t-testillä riskitasolla 0,05 eri mittasuhteisten saumojen maksimivenymät poikkesivat toisistaan merkitsevästi lukuunottamatta 25 ja 13,5 mm syviä saumoja. Näiden saumamittasuhteiden välillä tilastollisesti merkitsevää eroa ei ollut (P-arvo oli 0,51). Vastaavalla tarkastelulla eri mittasuhteiden välillä oli tilastollisesti merkitsevät erot maksimijännityksissä lukuunottamatta vertailtaessa 25 ja 35 mm syviä saumoja keskenään.

Koska 13,5 mm syvällä saumalla maksimivenymän ja maksimijännityksen keskiarvot olivat pienimmät ja tilastollinen tarkastelu tuki tätä tulosta, niin voidaan päätellä ettei saumaa kannata saumata saumamassalla kovin syväksi. Tällä matalimmalla saumatyypillä myös venymä-voimakäyrät olivat lähinnä teoreettista ihannemassaa. Parempaan lopputulokseen sauman kestävyys kannalta päästäneen siis, kun saumatun sauman syvyys on kohtuullisen pieni suhteessa sauman leveyteen. Tässä tutkimuksessa parhaiten menestynyt sauman mittasuhte oli 2/3 (leveys/syvyys). Ruotsalaisessa tutkimuksessa esitetään, että käytännössä on osoittautunut hyväksi suhde 1/2 ja suositellaan jopa suhdetta 1/1. /4/

#### 4.9 Kumilistojen laboratoriotutkimus

##### 4.9.1 Tutkimuksen tarkoitus

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää tutkimuksessa olevien kumilistojen kelpoisuutta betonipäälysteiden saumamateriaaliksi Suomen olosuhteissa yhdessä kenttätutkimuksen kanssa. Tutkimuksen kohteina oli kumilistojen ja betonin välinen kitkavoima saumassa.

##### 4.9.2 Yleistä koejärjestelyistä

Laboratoriokoe kumilistojen osalta tehtiin vetokokeena, jossa kuvassa 28 olevan koesauman kumilistaa vedetään saumasta pois tasaisella vedolla. Tulokseksi kirjattiin vedon maksimivoima, joka kuvaa betonin ja listan välistä kitkavoimaa saumassa.

Kokeessa oli vain yksi muuttuja: kumilistan tyyppi. Listoja oli kahta eri tyyppiä. Koekappaleen betoni oli lujuutta K90. Mielenkiintoista olisi ollut tutkia listojen ominaisuuksia eri lämpötiloissa mutta se ei ollut mahdollista käytettävillä laitteilla. Vetolaitteen tulisi olla temperoidussa tilassa, jotta listan kitkaan saumassa ei vaikuttaisi satunnaisesti betonikappaleen ja listan lämpeneminen. Betonikappaleen lämmitessä nopeasti muodostuu sen pinnalle eli myös sauman



sisäpinnoille huurua, joka vääristää tutkimustuloksia pienentämällä kitkaa saumassa.

Kummallakin listatyypillä tehtiin viisi rinnakkaiskoetta. Näin oli koemäärä  $2 \text{ kumilistaa} \times 5 \text{ rinnakkaiskoetta} = 10 \text{ koetta}$ . Kumilistojen laboratoriotutkimus tehtiin yhtenä sarjana. Kaikkine valmisteluineen tutkimus vei aikaa 3 työpäivää.



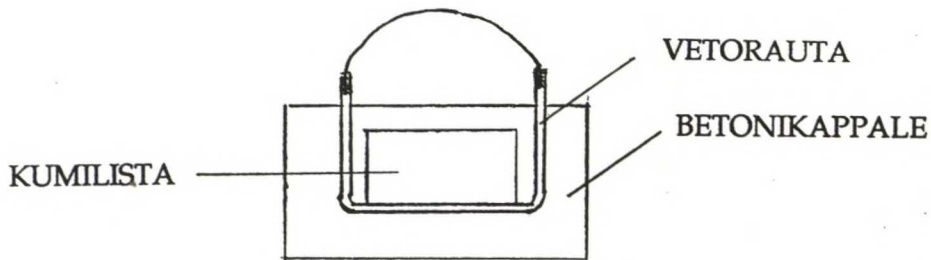
Kuva 28. Kumilistatutkimuksen koekappale.

#### 4.9.3 Materiaalitarve

Tutkimuksessa tarvittavia materiaaleja olivat kumilistat, betonikappaleet, muottitarvikkeet ja vetorauta. Yhdessä koekappaleessa käytettiin 3,5 cm kumilistaa. Tutkimuksessa käytettiin vain kahta betonikappaletta, jotka kunkin kokeen jälkeen puhdistettiin metyleenikloridilla mahdollisista kumijäänteistä. Koko kumilistatutkimukseen käytettiin kumpaakin kumilistaa  $5 \times 3,5 \text{ cm} = 17,5 \text{ cm}$ . Kumilistat on esitelty kenttätutkimuksen materiaalien yhteydessä.

#### 4.9.4 Koesauman valmistaminen

Koesauma valmistettiin kokoamalla muottirimoilla ja liimapuristimella kahdesta betonikappaleesta sauma, jonka leveys on joko 9 (lista Y) tai 12 mm (lista X). Kumilista painettiin saumaan 10 mm syvyyteen. Ennen kumilistan painamista saumaan asetettiin vetorauta. Kuvassa 27 on poikkileikkaus koesaumasta.



Kuva 29. Kumilistatutkimuksen koesauman poikkileikkaus.

#### 4.9.5 Vetokoe

Koesauma asetettiin vetolaitteen alempaan vetoleukaan siten, että vetoraudan lenkin läpi työnnettiin tappi, joka tukee ylemmään vetoleukaan. Kuvassa 28 on piirros koesaumasta vetolaitteessa. Kun koesauma oli valmiina vetolaitteessa, aloitettiin veto. Vetonopeus oli 5 mm/min. Vetoa jatkettiin kunnes kumilista nousi saumasta pois. Vedon maksimivoima kirjattiin kokeen tulokseksi. Maksimivoima kuvaa listan ja betonin välistä kitkavoimaa. Vetolaitteena käytettiin samaa ZIL R-0,5 vetolaitetta kuin saumamassojen laboratoriotutkimuksessa.

#### 4.9.6 Tulokset

Listan X vetovoimat tutkimuksessa vaihtelivat 0,35 kN:n ja 0,43 kN:n välillä, keskiarvon ollessa 0,40 kN. Tilastollisesti 95 %:n luottamusväli oli 0,35 kN - 0,45 kN, joten kaikki saadut arvot olivat luottamusvälin sisällä. Voiman vaihteluväli oli pienempi kuin lista Y:llä syystä, että listan umpinaisempi profiili esti listan vääntymisen saumassa kovin moniin eri asentoihin.

Listan Y vetovoimat vaihtelivat tutkimuksessa 0,36 kN:n ja 0,52 kN:n välillä, keskiarvo oli 0,44 kN. Tällä listalla luottamusväli oli vastaavasti 0,37 kN:sta 0,51 kN:iin, joten tulokset osuivat varsin hyvin luottamusvälille. Kitkavoiman suuruuteen vaikutti se, miten lista vedossa vääntyi saumassa.



Taulukko 12. Saumalistatutkimuksen tulokset.

| Koenumero | Lista | Maksimivoima<br>(kN) |
|-----------|-------|----------------------|
| 1         | X     | 0,42                 |
| 2         | X     | 0,43                 |
| 3         | X     | 0,42                 |
| 4         | X     | 0,36                 |
| 5         | X     | 0,35                 |
| 6         | Y     | 0,43                 |
| 7         | Y     | 0,46                 |
| 8         | Y     | 0,52                 |
| 9         | Y     | 0,36                 |
| 10        | Y     | 0,43                 |

Tilastollisesti ei listojen välillä ole 95 %:n varmuudella merkitsevää eroa kitkavoimissa saumassa. Kummankin pysyvyys saumassa on hyvä, koska koesaumassa listan pituus oli vain 3,5 cm, kitkavoima oli listalla X keskimäärin 11,4 kN/m ja listalla Y 12,8 kN/m.

On kuitenkin muistettava että listojen pysyvyys saumassa laskee huomattavasti, kun sauman leveys tiepäällysteessä kasvaa lämpötilan laskiessa. Laboratoriotutkimuksessa listalla B tehtiin vetokoe sauman leveyden ollessa 14 mm eli 2 mm leveämpi kuin ohjearvo. Tällöin vetovoima oli keskimäärin 4,3 kN/m eli vajaa 40 % siitä mitä voima oli ohjelevyisellä saumalla. Kahden millimetrin muutos saumassa vastaa teoreettisesti noin 30°C muutosta lämpötilassa, kun päällysteen laatan pituus on 5 m. Samoin saumaan tiellä kertyvä lika pienentää listan kitkaa saumassa. Tosin talvella saumaan listan päälle kertyvä jäänytynyt pöly ja muu lika suojaavat itse listaa vahingoittumiselta.

#### 4.10 Päätelmiä laboratoriotutkimuksen tuloksista

##### 4.10.1 Yleistä

Laboratoriotutkimus onnistui käytettävissä oleviin laitteistoihin nähden hyvin. Eri massojen välille saatiin johdonmukaisia eroja ja tilastollinen tarkastelu tuki osaltaan tutkimuksen luotettavuutta. On kuitenkin huomattava, että todellisista oloista laboratoriotutkimus poikkesi varsin paljon. Todellisuudessa ei käy niin, että sauma venyy kovilla pakkasilla yllättäen jopa 200 % nopeudella 5 mm/min. Kenttäoloissa muutokset tapahtuvat huomattavasti hitaammin. Otetaan esimerkiksi: talvipäivänä, joka on ollut suojasäinen, pakkasen kiristyy yllättäen yön aikana 15°C kymmenessä tunnissa. Lämpötilan muutos on siis 15°C/10h eli 0,025°C/min. Jos ei oteta huomioon sitä, että betonilaatassa lämpötilan muutokset ovat hitaampia kuin ilman lämpötilan muutokset, niin 5 metrin saumavälillä sauma leviäisi esitetyn lämpötilan muutosnopeuden ja kaavan 1 perusteella 0,0015 mm minuutissa. Näin tällaisessa melko äärimmäisessä tapauksessa laboratoriotutkimuksen vetonopeus 5 mm/min on noin 3300 kertaa nopeampi kuin kenttäoloissa tapahtuva sauman leveyden muutos. Tämän teoretisoinnin perusteella voidaan siis huomata, kuinka kaukana laboratoriotutkimus on todellisuudesta. Lisäksi kenttäoloissa liikenne aiheuttaa saumaan pystysuuntaisen dynaamisen rasituksen, jota on laboratoriossa vaikea jäljitellä. Mutta näiden huomioiden takia ei laboratoriotutkimusta pidä tyrmätä. Todellisuuteen nähden suuri vetonopeus on edellytys sille, että laboratorion saataisiin erilaisia tuloksia massoille. Ei olisi mieltä tehdä laboratoriotutkimusta, joka vastaisi kestoaltaan kenttäoloja. Tutkimuksethan voisi silloin tehdä pelkästään kentällä. Laboratoriossa tehtiin ikäänkuin pikakelaus todellisuudesta. Massojen välille saadut erot ovat selvästi liioiteltuja, mutta kuvastavat massojen ominaisuuksia siitä miten ne mahdollisesti käyttäytyisivät tiellä usean vuoden aikana.

Massoille laboratoriossa mitattuja maksimivenymä tulee tarkastella kriittisesti. Ruotsissa tehdyn tutkimuksen mukaan käytännössä ei minkään massan voida olettaa kestävän yli 50 % venymää laboratoriotuloksista huolimatta./4/

##### 4.10.2 Kuumavalumassat

Kuumavalumassoista parhaiten laboratoriotutkimuksessa menestyivät massat B, D, E ja F. Näiden massojen tuloksissa -4°C koelämpötilassa ei ole moitittavaa ja massat menestyivät kohtuullisen hyvin myös -24°C lämpötilassa. Erityisesti on mainittava massa F, jonka tulokset olivat tasaisen hyviä kylmemmässäkin koelämpötilassa niin maksimivenymän kuin maksimijännityksenkin suhteen. Massa C vaikuttaa kelvottomalta betoniteiden saumoihin ja massan A ominai-



suudet  $-24^{\circ}\text{C}$  koelämpötilassa arveluttavat. On kuitenkin muistettava, että todellisuudessa massat eivät joudu yhtä kovan rasituksen ja jännitysten muutosten alaisiksi kuin laboratoriossa.

#### 4.10.3 Kylmävalumassat

On tarkoituksenmukaista arvioida kuumavalumassojen ja kylmävalumassojen laboratoriotuloksia erikseen, niin erilaisia massat ovat luonteiltaan. Kuitenkin, jos arvioidaan laboratoriotutkimuksen tuloksia kokonaisuutena, niin parhaiten kaikista saumamassoista menestyivät massat G ja H. Näiden massojen ominaisuuksiin ei lämpötila tuntunut vaikuttavan juuri ollenkaan varsinkaan maksimivenymän suhteen. Maksimijännityksetkin jäivät pieniksi verrattuina muihin massoihin.

Kylmävalumassojen käyttöä betonipäällysteissä vaikeuttaa niiden hidas kovettuminen verrattuna kuumavalumassoihin. Parhaimmassakin tapauksessa lopullisten ominaisuuksien saavuttaminen vie useita päiviä. Lisäksi kylmävalumassat eivät kerran vaurioiduttuaan korjautu. Kuumavalumassoilla on ainakin teoreettisesti mahdollisuus korjautua itsestään. Haljennut kuumavalumassa voi, jos halkeamaan ei pääse likaa, korjautua auringon lämmittäessä massaa ja betonilaattojen samanaikaisesti puristaessa massaa laattojen lämpölaajetessa. Kylmävalumassa ei kovettumisensa jälkeen enää tartu uudestaan betoniin eikä itseensä halkeamisen tms. jälkeen.

Massa I ei kuulunut samaan sarjaan muiden saumamassojen kanssa. Ilmeisesti massa soveltuu vain pieniin paikkauksiin ja halkeamien korjauksiin kuten valmistajan ohjeet ovatkin. Massan työstettävyys saumaan oli erittäin huono ja toisaalta kovettumisnopeus aivan liian hidas päällysteen rakentamisen kannalta. Ei käy päinsä, että saumat kovettuvat vasta kuukauden kuluttua saumauksesta.

Massa J oli verrattaessa kaikkia saumamassoja keskenään kohtalaisen hyvä massa, mutta kylmävalumassojen joukossa se ei yltänyt massojen G ja H tasolle. Massan tuloksia saattaa vääristää sen komponenttien sekoituksen vaatima tarkkuus. Komponenttien välinen sekoitussuhde oli  $1/378$ , joten jo hyvin pieni epätarkkuus komponenttien annostuksessa voi vaikuttaa saumamassan ominaisuuksiin, varsinkin kun yhtä koesarjaa varten massaa tarvittiin vain 50 ml.

#### 4.10.4 Kumilistat

Kumilistojen ja saumamassojen vertaaminen keskenään laboratorio-oloissa ei ollut mahdollista käytävissä olevilla laitteilla. Siksi olikin tyydyttävä vertaamaan kumilistoja vain toisiinsa. Molemmat listat olivat laboratoriotutkimuksen perusteella asiallisia. Kitkavoimat saumassa olivat kummallakin tasaisen hyviä eikä varsinaista eroa listojen välillä ollut. Tulos olikin odotettavissa, sillä profiilista riippumatta voidaan olettaa, että listat on kehitetty kitkaominaisuuksiltaan hyviksi. Erojen saaminen kumilistojen välille jäi kenttätutkimuksen varaan.



## 5. LOPPUPÄÄTELMÄT

Betonipäällysteiden saumamateriaalien vertailututkimuksen perusteella ei vaikuta siltä, että korkealujuusbetoniin siirtyminen olisi syy miksi saumojen kanssa on tullut ongelmia. Selvitettäessä kokemuksia 1980-luvulla valmistuneista betonipäällysteistä ilmeni, että saumaongelmia on ollut jo ennen korkealujuusbetonin käyttöä. Saumaongelmilla tarkoitetaan tässä työssä saumamateriaalien käytössä ilmenneitä ongelmia; materiaalien huonoa tartuntaa betoniin, irtoamista saumoista, katkeilua yms. Myöskään laboratoriotutkimus ei vahvistanut lähtöoletusta, että betonin lujuusluokalla olisi ratkaiseva yhteys saumojen vaurioitumiseen. Lähinnä vaikuttaa siltä, että käytetyt saumamateriaalit, jotka ovat olleet pääasiassa bitumipohjaisia kuumavalumassoja, joutuvat liian kovaan rasitukseen suomalaisissa sääoloissa, erityisesti kovilla pakkasilla. Saumoissa tapahtuvat suhteelliset sauman leveyden muutokset ovat liian suuria verrattuina massojen ominaisuuksiin kylmässä. Ankara sää asettaa myös suuria vaatimuksia saumaustyön laadulle. Jotta saumamassoilla olisi edes mahdollisuus selviytyä vaurioitumatta suurista säänmuutoksista useamman vuoden ajan, tulee saumaustyö tehdä erityisen huolellisesti. Saumojen sahaus, puhdistus, mahdollinen kuivaus ja tarvittavan primerin levittäminen ovat saumaustyön avainkohtia. Nämä alustavat työvaiheet ovat vähintään yhtä tärkeässä asemassa sauman pitkäikäisyyden kannalta kuin itse saumaus saumamateriaalilla.

Vertailtaessa tutkimuksen eri osa-alueita keskenään voidaan todeta, että tulokset vahvistavat toisiaan. Kenttätutkimuksessa parhaiten menestyivät materiaalit, jotka olivat menestyneet myös laboratoriotutkimuksessa. Massan A kohdalla oli poikkeus, mutta se selittyy sillä, että kenttäoloissa ei massoissa tapahtuvat venymät ja jännitysten muutokset ole läheskään niin rajuja kuin laboratoriokeissa.

Kaikenkaikkiaan vertailututkimuksessa mukana olleista saumamateriaaleista löytyi materiaaleja, jotka vaikuttavat soveltuvan hyvin betonipäällysteiden saumamateriaaleiksi. Toisaalta löytyi materiaaleja, jotka eivät sovellu käytettäväksi betonipäällysteisiin. Suositeltavimpia materiaaleja ovat saumalistat. Saumalistoilla on selvästi vähemmän ominaisuuksia, jotka voisivat vaurioittaa niitä tieolosuhteissa. Listoilla eivät ratkaise venymisominaisuudet eikä niissä esiinny jännityksiä, jotka voisivat vaurioittaa niitä. Kumilistat ovat materiaaleiltaan sellaisia, että niiden ominaisuudet säilyvät matalissakin lämpötiloissa. Asennusvaiheessa kumilistat eivät ole saumamassojen tavoin herkkiä kosteudelle ja pienelle epäpuhtaudelle. Sauman avarrussahaukseen on kiinnitettävä erityistä huomiota kumilistoja asennettaessa. Sauman on oltava asennusvaiheessa

riittävän kapea, jottei päällysteen laattojen kutistuminen lämpötilan laskiessa johda siihen, että saumat leviävät niin, ettei lista olekaan enää tiiviisti saumassa. Tällöin sauma on nimittäin alttiina lian tunkeutumiselle listan alle. Saumaan listan alle päässyt lika ja mahdollinen kosteus voivat ajan myötä vaurioittaa itse päällystettä.

Saumamassoista eräät kylmävalumassat menestyivät vertailututkimuksessa parhaiten, valitettavasti toinen parhaiten menestyneistä kylmävalumassoista ei ollut mukana kenttätutkimuksessa. Kuumavalumassoissa on suuria eroja. Eräät massat haurastuvat kylmässä ja kaikki tutkitut kuumavalumassat menettävät suurimman osan elastisuudestaan kovassa pakkasessa. Tilanne ei kuitenkaan ole näin lohduton kuumavalumassojen osalta. Lämpöliike betonilaatoissa on hidasta eivätkä sauman leveyden muutokset tapahdu yhtäkkisinä. Tämä antaa saumamassoille aikaa sopeutua sauman leveyden muutoksiin.

Kaikenkaikkiaan tehdyn vertailututkimuksen perusteella suositeltavimpia betonipäällysteiden saumamateriaaleja tutkituista materiaaleista ovat kumilistat. Saumamassojen osalta vaadittaisiin laajempi ja pidempikestoinen kenttätutkimus, jotta varauksetta ja varmasti voisi suositella joitain tiettyjä massoja. Mutta kenttätutkimuksen perusteella lupaavia massoja ovat massat A ja F. Massalla F oli tosin kenttätutkimuksessa huono tartunta betoniin, mutta kentällä ei käytetty primeria. Laboratoriossa massan F kanssa käytettiin primeria ja tartunnassa betoniin ei ollut moitittavaa. Laboratoriotutkimuksen perusteella vaikuttavat massat B, F, G ja H lupaavilta saumamassoilta. Erityisesti kylmävalumassojen G ja H tulokset olivat hyviä.

Loppujen lopuksi voidaan vielä kerrata, että vertailututkimus puoltaa kumilistojen käyttöä betonipäällysteiden saumamateriaaleina. Edellä mainitut saumamassat ovat myös mahdollisesti saumamateriaaleiksi soveltuvia mutta lisätutkimukset erityisesti kenttäoloissa olisivat tarpeellisia lopullisten päätelmien tekoon.



## LÄHDELUETTELO

1. Betonipäällysteen valinta ja talous, Tielaitos, Selvityksiä 56/1993, Helsinki 1993
2. High-Strength Concrete (SP-87), American Concrete Institute, Detroit 1987
3. Laukkanen K., Haimala T., Siltakansien pintarakennemateriaalien hyväksyntä: Testien teettäminen ja menetelmäkuvaukset, VTT tiedotteita 1202, Espoo 1991
4. Norrby S., Fogmassor för vägar och flygfält. Del 1, Teknisk rapport SP-RAPP 1982:39, Borås 1982
5. Sivula K., Betonia valtatie 3:n päällysteeksi, Maarakennus ja kuljetus 7/1991

## MUUTA KIRJALLISUUTTA

Alameri R., Pöyhönen P., Johdatusta tilastolliseen tutkimukseen, 4. korjattu painos, Helsingin Yliopisto, Helsinki 1969

American Society for Testing and Materials, 1983 Annual book of ASTM standards: section 4, Philadelphia 1983

Betonipäällysteen kunnon seuranta ja kunnossapito-ohjeet, Tielaitos, Helsinki 1992

Betonipäällysteet: suunnitteluohjeet 1989, Suomen betoniyhdistys, tekniset ohjeet 28

Brown E. R., New pavement materials: proceedings of the session sponsored by the Materials Engineering Division of the

American Society of Civil Engineers in conjunction with the ASCE Convention, Nashville, TN, May 10, 1988, American Society of Civil Engineers, New York 1988

Burström P.-G., Vad händer egentligen i en fog ?, Byggmästaren 11/1979

Deutsche Normen, Prüfung bituminöser Massen für den Straßenbau und verwandte Gebiete, DIN 1996

Dowdy S., Warden S., Statistics for research, John Wiley & Sons, USA 1983

Eisenmann J., Betonfahrbahnen, Ernst, Berlin 1979

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Technische Lieferbedingungen für bituminöse Fugenvergüßmassen, TL bitFug 82

Hemilä S., Utriainen J., Lämpöoppi, Suomen Fyysikkoseuran julkaisuja 3, 1989

Kaavasto, Tammertekniikka 1989

Laininen P., Todennäköisyyslaskenta ja tilastolliset menetelmät, Otakustantamo, Espoo 1977

Lampinen A., Betonipäällysteiset tiet, TKK/Tietekniikka 12, Espoo 1979

Lampinen A., Betonipäällysteisistä teistä, Rakennustaito 11/1981

Linde S., Investigations on the cracking behaviour of joints in airfields and roads, Statens provningsanstalt, SP-report 1988:23, Borås 1988

Matematiikka, Fysiikka, Kemia taulukot, Matemaattisten aineiden opettajien liitto ja Otava, Keuruu 1985

Penttala V., Högman T., Schreck J. ja Ipatti A., Korkealujuuksien betonin valmistustekniikka, TKK/Rakennetekniikan laitos



julkaisu 77, Espoo 1986

Perälä E., Betonitie Ouluun, Rakennustekniikka 2/1988

Petersson Ö., Dimensionering av oarmerade betongvägar, CBI rapport 2:90, Stockholm 1990

Petersson Ö., Johansson A. ja Sundbom S., Provvägar av cementbetong vid Arlanda, 1990, CBI rapport 4:91, Stockholm 1991

Pyötsiä A., Penttala V., Paikallavalurakenteisiin soveltuvien korkealujuuksisten betonien valmistustekniikka, TKK/Rakennetekniikan laitos julkaisu 101, Espoo 1989

Rahiala J., Rapakon takana betonipäällysteitä metsästävässä, Tie ja Liikenne 1-2/1987

Schweizerische Normenvereinigung, Fugenfüllmaterialen, SNV 671 904

Sivula K., Betonitien etuna pitkäikäisyys, Rakennusteollisuus 1/1992

Tie- ja Liikennesanasto, Suomen Tieyhdistys 1985

Underhåll av betongbeläggningar i Skåne, Nordiska Vägtekniska Förbundet, Rapport 7:1985

Williams R. I. T., Cement-treated pavements: materials, design and construction, Elsevier, London 1986





| ACCOPLAST B<br>K50, -4 | Käyrän<br>nousukulma 1<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 2<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 3<br>(astetta) | Maksimi-<br>venymä<br>(mm) | Maksimi-<br>jännitys<br>(MPa) | Tartunta<br>betoniin |
|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1. rinnakkaiskoe       | 77,60                               | 65,60                               | 32,60                               | 10,30                      | 0,74                          | 3                    |
| 2. rinnakkaiskoe       | 82,10                               | 68,20                               | 17,70                               | 16,10                      | 0,73                          | 3                    |
| 3. rinnakkaiskoe       | 86,20                               | 72,10                               | 52,40                               | 6,10                       | 0,81                          | 3                    |
| keskiarvo              | 81,97                               | 68,63                               | 34,23                               | 10,83                      | 0,76                          | 3                    |

| ACCOPLAST B<br>K50, -24 | Käyrän<br>nousukulma 1<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 2<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 3<br>(astetta) | Maksimi-<br>venymä<br>(mm) | Maksimi-<br>jännitys<br>(MPa) | Tartunta<br>betoniin |
|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1. rinnakkaiskoe        | 88,60                               | 88,60                               | 88,60                               | 0,70                       | 1,99                          | 2                    |
| 2. rinnakkaiskoe        | 89,30                               | 89,30                               | 89,30                               | 0,70                       | 1,91                          | 1                    |
| 3. rinnakkaiskoe        | 88,70                               | 88,70                               | 88,70                               | 0,80                       | 2,65                          | 1                    |
| keskiarvo               | 88,87                               | 88,87                               | 88,87                               | 0,73                       | 2,18                          | 1                    |

| BIGUMA ARCTIC<br>GRADE F<br>K50, -4 | Käyrän<br>nousukulma 1<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 2<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 3<br>(astetta) | Maksimi-<br>venymä<br>(mm) | Maksimi-<br>jännitys<br>(MPa) | Tartunta<br>betoniin |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1. rinnakkaiskoe                    | 88,00                               | 77,60                               | 31,60                               | 6,60                       | 0,56                          | 1                    |
| 2. rinnakkaiskoe                    | 87,60                               | 74,10                               | 46,10                               | 5,80                       | 0,57                          | 1                    |
| 3. rinnakkaiskoe                    | 87,10                               | 77,90                               | 8,00                                | 16,60                      | 0,58                          | 1                    |
| keskiarvo                           | 87,57                               | 76,53                               | 28,57                               | 9,67                       | 0,57                          | 1                    |

| BIGUMA ARCTIC<br>GRADE F<br>K50, -24 | Käyrän<br>nousukulma 1<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 2<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 3<br>(astetta) | Maksimi-<br>venymä<br>(mm) | Maksimi-<br>jännitys<br>(MPa) | Tartunta<br>betoniin |
|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1. rinnakkaiskoe                     | 88,90                               | 86,50                               | 86,50                               | 2,00                       | 2,36                          | 2                    |
| 2. rinnakkaiskoe                     | 0,00                                | 0,00                                | 0,00                                | 0,00                       | 0,00                          | 2                    |
| 3. rinnakkaiskoe                     | 88,10                               | 86,10                               | 86,10                               | 2,30                       | 2,42                          | 2                    |
| keskiarvo                            | 88,50                               | 86,30                               | 86,30                               | 2,15                       | 2,39                          | 2                    |

| BIGUMA 1614<br>K50, -4 | Käyrän<br>nousukulma 1<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 2<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 3<br>(astetta) | Maksimi-<br>venymä<br>(mm) | Maksimi-<br>jännitys<br>(MPa) | Tartunta<br>betoniin |
|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1. rinnakkaiskoe       | 87,00                               | 87,00                               | 87,00                               | 0,10                       | 0,28                          | 3                    |
| 2. rinnakkaiskoe       | 88,00                               | 88,00                               | 88,00                               | 0,20                       | 0,42                          | 3                    |
| 3. rinnakkaiskoe       | 88,50                               | 88,50                               | 88,50                               | 0,20                       | 0,54                          | 3                    |
| keskiarvo              | 87,83                               | 87,83                               | 87,83                               | 0,17                       | 0,41                          | 3                    |

| BIGUMA 1614<br>K50, -24 | Käyrän<br>nousukulma 1<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 2<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 3<br>(astetta) | Maksimi-<br>venymä<br>(mm) | Maksimi-<br>jännitys<br>(MPa) | Tartunta<br>betoniin |
|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1. rinnakkaiskoe        | 88,80                               | 88,80                               | 88,80                               | 0,20                       | 0,37                          | 3                    |
| 2. rinnakkaiskoe        | 89,40                               | 89,40                               | 89,40                               | 0,10                       | 0,64                          | 3                    |
| 3. rinnakkaiskoe        | 88,50                               | 88,50                               | 88,50                               | 0,20                       | 0,53                          | 3                    |
| keskiarvo               | 88,90                               | 88,90                               | 88,90                               | 0,17                       | 0,51                          | 3                    |

| BIGUMA TL 82<br>K50, -4 | Käyrän<br>nousukulma 1<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 2<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 3<br>(astetta) | Maksimi-<br>venymä<br>(mm) | Maksimi-<br>jännitys<br>(MPa) | Tartunta<br>betoniin |
|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1. rinnakkaiskoe        | 87,90                               | 76,00                               | 38,30                               | 6,60                       | 0,65                          | 2                    |
| 2. rinnakkaiskoe        | 84,10                               | 73,40                               | 11,30                               | 16,80                      | 0,55                          | 1                    |
| 3. rinnakkaiskoe        | 88,40                               | 76,30                               | 9,60                                | 18,00                      | 0,57                          | 1                    |
| keskiarvo               | 86,80                               | 75,23                               | 19,73                               | 13,80                      | 0,59                          | 1                    |

| BIGUMA TL 82<br>K50, -24 | Käyrän<br>nousukulma 1<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 2<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 3<br>(astetta) | Maksimi-<br>venymä<br>(mm) | Maksimi-<br>jännitys<br>(MPa) | Tartunta<br>betoniin |
|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1. rinnakkaiskoe         | 88,70                               | 88,70                               | 88,70                               | 0,60                       | 1,39                          | 2                    |
| 2. rinnakkaiskoe         | 89,10                               | 89,10                               | 89,10                               | 1,00                       | 2,89                          | 2                    |
| 3. rinnakkaiskoe         | 88,50                               | 88,50                               | 88,50                               | 0,90                       | 2,42                          | 1                    |
| keskiarvo                | 88,77                               | 88,77                               | 88,77                               | 0,83                       | 2,23                          | 2                    |

| THORMAJoint<br>BJ SUPER<br>K50, -4 | Käyrän<br>nousukulma 1<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 2<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 3<br>(astetta) | Maksimi-<br>venymä<br>(mm) | Maksimi-<br>jännitys<br>(MPa) | Tartunta<br>betoniin |
|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1. rinnakkaiskoe                   | 88,50                               | 80,40                               | 30,50                               | 13,30                      | 1,09                          | 3                    |
| 2. rinnakkaiskoe                   | 88,60                               | 79,30                               | 20,30                               | 18,00                      | 0,99                          | 1                    |
| 3. rinnakkaiskoe                   | 88,80                               | 81,50                               | 80,30                               | 3,10                       | 1,30                          | 1                    |
| keskiarvo                          | 88,63                               | 80,40                               | 43,70                               | 11,47                      | 1,12                          | 2                    |

| THORMAJoint<br>BJ SUPER<br>K50, -24 | Käyrän<br>nousukulma 1<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 2<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 3<br>(astetta) | Maksimi-<br>venymä<br>(mm) | Maksimi-<br>jännitys<br>(MPa) | Tartunta<br>betoniin |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1. rinnakkaiskoe                    | 88,70                               | 88,70                               | 88,70                               | 0,60                       | 1,69                          | 1                    |
| 2. rinnakkaiskoe                    | 88,70                               | 88,70                               | 88,70                               | 0,60                       | 1,68                          | 2                    |
| 3. rinnakkaiskoe                    | 88,80                               | 88,80                               | 88,80                               | 0,50                       | 1,51                          | 1                    |
| keskiarvo                           | 88,73                               | 88,73                               | 88,73                               | 0,57                       | 1,63                          | 1                    |

| THORMASEAL<br>1401<br>K50, -4 | Käyrän<br>nousukulma 1<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 2<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 3<br>(astetta) | Maksimi-<br>venymä<br>(mm) | Maksimi-<br>jännitys<br>(MPa) | Tartunta<br>betoniin |
|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1. rinnakkaiskoe              | 62,20                               | 40,70                               | 10,50                               | 18,00                      | 0,30                          | 1                    |
| 2. rinnakkaiskoe              | 66,90                               | 41,70                               | 10,20                               | 18,00                      | 0,30                          | 1                    |
| 3. rinnakkaiskoe              | 62,20                               | 40,70                               | 13,80                               | 15,70                      | 0,33                          | 2                    |
| keskiarvo                     | 63,77                               | 41,03                               | 11,50                               | 17,23                      | 0,31                          | 1                    |

| THORMASEAL<br>1401<br>K50, -24 | Käyrän<br>nousukulma 1<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 2<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 3<br>(astetta) | Maksimi-<br>venymä<br>(mm) | Maksimi-<br>jännitys<br>(MPa) | Tartunta<br>betoniin |
|--------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1. rinnakkaiskoe               | 88,20                               | 84,40                               | 84,40                               | 2,40                       | 1,73                          | 2                    |
| 2. rinnakkaiskoe               | 87,00                               | 87,00                               | 87,00                               | 0,50                       | 0,66                          | 2                    |
| 3. rinnakkaiskoe               | 87,90                               | 85,40                               | 85,40                               | 1,50                       | 1,34                          | 2                    |
| keskiarvo                      | 87,70                               | 85,60                               | 85,60                               | 1,47                       | 1,24                          | 2                    |



| ACCOPLAST U<br>K50, -4 | Käyrän<br>nousukulma 1<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 2<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 3<br>(astetta) | Maksimi-<br>venymä<br>(mm) | Maksimi-<br>jännitys<br>(MPa) | Tartunta<br>betoniin |
|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1. rinnakkaiskoe       | 31,60                               | 8,00                                | 8,00                                | 18,00                      | 0,19                          | 1                    |
| 2. rinnakkaiskoe       | 34,40                               | 9,10                                | 9,10                                | 18,00                      | 0,20                          | 1                    |
| 3. rinnakkaiskoe       | 25,60                               | 9,60                                | 9,60                                | 18,00                      | 0,22                          | 1                    |
| keskiarvo              | 30,53                               | 8,90                                | 8,90                                | 18,00                      | 0,20                          | 1                    |

| ACCOPLAST U<br>K50, -24 | Käyrän<br>nousukulma 1<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 2<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 3<br>(astetta) | Maksimi-<br>venymä<br>(mm) | Maksimi-<br>jännitys<br>(MPa) | Tartunta<br>betoniin |
|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1. rinnakkaiskoe        | 82,00                               | 54,50                               | 26,30                               | 18,00                      | 0,74                          | 1                    |
| 2. rinnakkaiskoe        | 78,00                               | 54,50                               | 49,00                               | 8,90                       | 0,75                          | 2                    |
| 3. rinnakkaiskoe        | 79,20                               | 54,50                               | 30,80                               | 18,00                      | 0,74                          | 1                    |
| keskiarvo               | 79,73                               | 54,50                               | 35,37                               | 14,97                      | 0,74                          | 1                    |

| SILPRUF<br>K50, -4 | Käyrän<br>nousukulma 1<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 2<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 3<br>(astetta) | Maksimi-<br>venymä<br>(mm) | Maksimi-<br>jännitys<br>(MPa) | Tartunta<br>betoniin |
|--------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1. rinnakkaiskoe   | 40,50                               | 15,90                               | 15,90                               | 13,30                      | 0,34                          | 1                    |
| 2. rinnakkaiskoe   | 50,20                               | 27,90                               | 27,90                               | 7,90                       | 0,34                          | 2                    |
| 3. rinnakkaiskoe   | 50,20                               | 13,50                               | 13,50                               | 18,00                      | 0,39                          | 1                    |
| keskiarvo          | 46,97                               | 19,10                               | 19,10                               | 13,07                      | 0,36                          | 1                    |

| SILPRUF<br>K50, -24 | Käyrän<br>nousukulma 1<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 2<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 3<br>(astetta) | Maksimi-<br>venymä<br>(mm) | Maksimi-<br>jännitys<br>(MPa) | Tartunta<br>betoniin |
|---------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1. rinnakkaiskoe    | 50,20                               | 15,90                               | 15,90                               | 17,70                      | 0,45                          | 1                    |
| 2. rinnakkaiskoe    | 50,20                               | 13,80                               | 13,80                               | 18,00                      | 0,39                          | 1                    |
| 3. rinnakkaiskoe    | 43,40                               | 15,90                               | 15,90                               | 14,00                      | 0,36                          | 1                    |
| keskiarvo           | 47,93                               | 15,20                               | 15,20                               | 16,57                      | 0,40                          | 1                    |

| SWECO<br>CRACK FILLER<br>K50, -4 | Käyrän<br>nousukulma 1<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 2<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 3<br>(astetta) | Maksimi-<br>venymä<br>(mm) | Maksimi-<br>jännitys<br>(MPa) | Tartunta<br>betoniin |
|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1. rinnakkaiskoe                 | 89,00                               | 89,00                               | 89,00                               | 0,30                       | 0,41                          | 2                    |
| 2. rinnakkaiskoe                 | 87,40                               | 87,40                               | 87,40                               | 0,30                       | 0,26                          | 2                    |
| 3. rinnakkaiskoe                 | 0,00                                | 0,00                                | 0,00                                | 0,00                       | 0,24                          | 2                    |
| keskiarvo                        | 88,20                               | 88,20                               | 88,20                               | 0,30                       | 0,33                          | 2                    |

| SWECO<br>CRACK FILLER<br>K50, -24 | Käyrän<br>nousukulma 1<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 2<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 3<br>(astetta) | Maksimi-<br>venymä<br>(mm) | Maksimi-<br>jännitys<br>(MPa) | Tartunta<br>betoniin |
|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1. rinnakkaiskoe                  | 88,50                               | 88,50                               | 88,50                               | 0,70                       | 0,98                          | 2                    |
| 2. rinnakkaiskoe                  | 85,60                               | 83,20                               | 83,20                               | 2,30                       | 0,59                          | 2                    |
| 3. rinnakkaiskoe                  | 55,90                               | 55,90                               | 55,90                               | 0,5                        | 0,07                          | 2                    |
| keskiarvo                         | 87,05                               | 85,85                               | 85,85                               | 1,50                       | 0,78                          | 2                    |

| SWECO POUR-<br>ABLE CRACK<br>FILLER; K50, -4 | Käyrän<br>nousukulma 1<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 2<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 3<br>(astetta) | Maksimi-<br>venymä<br>(mm) | Maksimi-<br>jännitys<br>(MPa) | Tartunta<br>betoniin |
|--|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1. rinnakkaiskoe                             | 71,30                               | 50,20                               | 8,50                                | 7,90                       | 0,16                          | 1                    |
| 2. rinnakkaiskoe                             | 80,20                               | 63,40                               | 30,30                               | 5,80                       | 0,33                          | 1                    |
| 3. rinnakkaiskoe                             | 77,50                               | 70,70                               | 23,70                               | 7,20                       | 0,38                          | 1                    |
| keskiarvo                                    | 76,33                               | 61,43                               | 20,83                               | 6,97                       | 0,29                          | 1                    |

| SWECO POUR-<br>ABLE CRACK<br>FILLER; K50, -24 | Käyrän<br>nousukulma 1<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 2<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 3<br>(astetta) | Maksimi-<br>venymä<br>(mm) | Maksimi-<br>jännitys<br>(MPa) | Tartunta<br>betoniin |
|---|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1. rinnakkaiskoe                              | 86,50                               | 80,90                               | 80,20                               | 2,10                       | 0,81                          | 2                    |
| 2. rinnakkaiskoe                              | 88,90                               | 79,30                               | 76,90                               | 2,10                       | 0,74                          | 3                    |
| 3. rinnakkaiskoe                              | 85,90                               | 82,30                               | 75,30                               | 3,50                       | 0,93                          | 1                    |
| keskiarvo                                     | 87,10                               | 80,83                               | 77,47                               | 2,57                       | 0,83                          | 2                    |

| ACCOPLAST B<br>K90, -4 | Käyrän<br>nousukulma 1<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 2<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 3<br>(astetta) | Maksimi-<br>venymä<br>(mm) | Maksimi-<br>jännitys<br>(MPa) | Tartunta<br>betoniin |
|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1. rinnakkaiskoe       | 84,30                               | 67,80                               | 16,20                               | 18,00                      | 0,66                          | 3                    |
| 2. rinnakkaiskoe       | 85,90                               | 71,80                               | 19,30                               | 18,00                      | 0,85                          | 3                    |
| 3. rinnakkaiskoe       | 88,30                               | 69,70                               | 69,70                               | 4,20                       | 0,81                          | 3                    |
| keskiarvo              | 86,17                               | 69,77                               | 35,07                               | 13,40                      | 0,77                          | 3                    |

| ACCOPLAST B<br>K90, -24 | Käyrän<br>nousukulma 1<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 2<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 3<br>(astetta) | Maksimi-<br>venymä<br>(mm) | Maksimi-<br>jännitys<br>(MPa) | Tartunta<br>betoniin |
|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1. rinnakkaiskoe        | 88,60                               | 87,80                               | 87,80                               | 1,10                       | 2,06                          | 1                    |
| 2. rinnakkaiskoe        | 89,00                               | 88,70                               | 88,70                               | 0,70                       | 2,01                          | 1                    |
| 3. rinnakkaiskoe        | 89,10                               | 88,90                               | 88,90                               | 0,70                       | 2,17                          | 2                    |
| keskiarvo               | 88,90                               | 88,47                               | 88,47                               | 0,83                       | 2,08                          | 1                    |

| BIGUMA ARCTIC<br>GRADE F<br>K90, -4 | Käyrän<br>nousukulma 1<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 2<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 3<br>(astetta) | Maksimi-<br>venymä<br>(mm) | Maksimi-<br>jännitys<br>(MPa) | Tartunta<br>betoniin |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1. rinnakkaiskoe                    | 87,10                               | 74,90                               | 13,50                               | 12,00                      | 0,50                          | 1                    |
| 2. rinnakkaiskoe                    | 86,50                               | 75,80                               | 25,20                               | 8,30                       | 0,59                          | 1                    |
| 3. rinnakkaiskoe                    | 87,70                               | 75,40                               | 12,70                               | 12,30                      | 0,53                          | 1                    |
| keskiarvo                           | 87,10                               | 75,37                               | 17,13                               | 10,87                      | 0,54                          | 1                    |

| BIGUMA ARCTIC<br>GRADE F<br>K90, -24 | Käyrän<br>nousukulma 1<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 2<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 3<br>(astetta) | Maksimi-<br>venymä<br>(mm) | Maksimi-<br>jännitys<br>(MPa) | Tartunta<br>betoniin |
|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1. rinnakkaiskoe                     | 88,30                               | 87,20                               | 87,20                               | 1,00                       | 1,34                          | 2                    |
| 2. rinnakkaiskoe                     | 88,30                               | 86,70                               | 86,70                               | 1,90                       | 1,99                          | 2                    |
| 3. rinnakkaiskoe                     | 88,90                               | 88,30                               | 88,30                               | 0,80                       | 1,82                          | 2                    |
| keskiarvo                            | 88,50                               | 87,40                               | 87,40                               | 1,23                       | 1,72                          | 2                    |



| BIGUMA 1614<br>K90, -4 | Käyrän<br>nousukulma 1<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 2<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 3<br>(astetta) | Maksimi-<br>venymä<br>(mm) | Maksimi-<br>jännitys<br>(MPa) | Tartunta<br>betoniin |
|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1. rinnakkaiskoe       | 88,30                               | 88,30                               | 88,30                               | 0,30                       | 0,59                          | 2                    |
| 2. rinnakkaiskoe       | 87,80                               | 87,80                               | 87,80                               | 0,50                       | 0,85                          | 3                    |
| 3. rinnakkaiskoe       | 86,90                               | 86,90                               | 86,90                               | 0,20                       | 0,27                          | 3                    |
| keskiarvo              | 87,67                               | 87,67                               | 87,67                               | 0,33                       | 0,57                          | 3                    |

| BIGUMA 1614<br>K90, -24 | Käyrän<br>nousukulma 1<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 2<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 3<br>(astetta) | Maksimi-<br>venymä<br>(mm) | Maksimi-<br>jännitys<br>(MPa) | Tartunta<br>betoniin |
|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1. rinnakkaiskoe        | 86,90                               | 86,90                               | 86,90                               | 0,50                       | 0,58                          | 3                    |
| 2. rinnakkaiskoe        | 0,00                                | 0,00                                | 0,00                                | 0,00                       | 0,00                          | 3                    |
| 3. rinnakkaiskoe        | 88,70                               | 88,70                               | 88,70                               | 0,20                       | 0,63                          | 3                    |
| keskiarvo               | 87,80                               | 87,80                               | 87,80                               | 0,35                       | 0,61                          | 3                    |

| BIGUMA TL 82<br>K90, -4 | Käyrän<br>nousukulma 1<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 2<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 3<br>(astetta) | Maksimi-<br>venymä<br>(mm) | Maksimi-<br>jännitys<br>(MPa) | Tartunta<br>betoniin |
|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1. rinnakkaiskoe        | 87,00                               | 72,60                               | 6,60                                | 18,00                      | 0,46                          | 1                    |
| 2. rinnakkaiskoe        | 86,90                               | 75,90                               | 25,40                               | 9,30                       | 0,60                          | 2                    |
| 3. rinnakkaiskoe        | 86,40                               | 73,80                               | 6,60                                | 18,00                      | 0,40                          | 1                    |
| keskiarvo               | 86,77                               | 74,10                               | 12,87                               | 15,10                      | 0,49                          | 1                    |

| BIGUMA TL 82<br>K90, -24 | Käyrän<br>nousukulma 1<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 2<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 3<br>(astetta) | Maksimi-<br>venymä<br>(mm) | Maksimi-<br>jännitys<br>(MPa) | Tartunta<br>betoniin |
|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1. rinnakkaiskoe         | 88,40                               | 88,40                               | 88,40                               | 0,40                       | 0,86                          | 2                    |
| 2. rinnakkaiskoe         | 88,70                               | 88,70                               | 88,70                               | 0,40                       | 1,22                          | 2                    |
| 3. rinnakkaiskoe         | 88,10                               | 88,10                               | 88,10                               | 0,80                       | 1,71                          | 2                    |
| keskiarvo                | 88,40                               | 88,40                               | 88,40                               | 0,53                       | 1,26                          | 2                    |

| THORMAJUNT<br>BJ SUPER<br>K90, -4 | Käyrän<br>nousukulma 1<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 2<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 3<br>(astetta) | Maksimi-<br>venymä<br>(mm) | Maksimi-<br>jännitys<br>(MPa) | Tartunta<br>betoniin |
|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1. rinnakkaiskoe                  | 87,10                               | 81,30                               | 17,00                               | 18,00                      | 0,98                          | 1                    |
| 2. rinnakkaiskoe                  | 86,40                               | 80,50                               | 18,30                               | 18,00                      | 0,99                          | 1                    |
| 3. rinnakkaiskoe                  | 88,60                               | 80,50                               | 19,30                               | 18,00                      | 0,97                          | 1                    |
| keskiarvo                         | 87,37                               | 80,77                               | 18,20                               | 18,00                      | 0,98                          | 1                    |

| THORMAJUNT<br>BJ SUPER<br>K90, -24 | Käyrän<br>nousukulma 1<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 2<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 3<br>(astetta) | Maksimi-<br>venymä<br>(mm) | Maksimi-<br>jännitys<br>(MPa) | Tartunta<br>betoniin |
|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1. rinnakkaiskoe                   | 88,50                               | 88,50                               | 88,50                               | 0,50                       | 1,32                          | 2                    |
| 2. rinnakkaiskoe                   | 88,80                               | 88,80                               | 88,80                               | 0,40                       | 1,37                          | 2                    |
| 3. rinnakkaiskoe                   | 88,80                               | 88,80                               | 88,80                               | 0,70                       | 2,30                          | 1                    |
| keskiarvo                          | 88,70                               | 88,70                               | 88,70                               | 0,53                       | 1,66                          | 2                    |

| THORMASEAL<br>1401<br>K90, -4 | Käyrän<br>nousukulma 1<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 2<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 3<br>(astetta) | Maksimi-<br>venymä<br>(mm) | Maksimi-<br>jännitys<br>(MPa) | Tartunta<br>betoniin |
|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1. rinnakkaiskoe              | 77,10                               | 45,00                               | 11,00                               | 18,00                      | 0,31                          | 1                    |
| 2. rinnakkaiskoe              | 81,60                               | 45,00                               | 10,20                               | 18,00                      | 0,30                          | 1                    |
| 3. rinnakkaiskoe              | 78,10                               | 45,00                               | 12,10                               | 18,00                      | 0,34                          | 1                    |
| keskiarvo                     | 78,93                               | 45,00                               | 11,10                               | 18,00                      | 0,32                          | 1                    |

| THORMASEAL<br>1401<br>K90, -24 | Käyrän<br>nousukulma 1<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 2<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 3<br>(astetta) | Maksimi-<br>venymä<br>(mm) | Maksimi-<br>jännitys<br>(MPa) | Tartunta<br>betoniin |
|--------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1. rinnakkaiskoe               | 87,30                               | 87,30                               | 87,30                               | 0,40                       | 0,62                          | 2                    |
| 2. rinnakkaiskoe               | 88,50                               | 85,60                               | 85,60                               | 1,90                       | 1,72                          | 2                    |
| 3. rinnakkaiskoe               | 88,40                               | 86,30                               | 86,30                               | 1,20                       | 1,34                          | 2                    |
| keskiarvo                      | 88,07                               | 86,40                               | 86,40                               | 1,17                       | 1,22                          | 2                    |

| ACCOPLAST U<br>K90, -4 | Käyrän<br>nousukulma 1<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 2<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 3<br>(astetta) | Maksimi-<br>venymä<br>(mm) | Maksimi-<br>jännitys<br>(MPa) | Tartunta<br>betoniin |
|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1. rinnakkaiskoe       | 24,50                               | 8,30                                | 8,30                                | 18,00                      | 0,19                          | 1                    |
| 2. rinnakkaiskoe       | 34,00                               | 8,80                                | 8,80                                | 18,60                      | 0,19                          | 1                    |
| 3. rinnakkaiskoe       | 35,60                               | 8,80                                | 8,80                                | 16,30                      | 0,73                          | 1                    |
| keskiarvo              | 31,37                               | 8,63                                | 8,63                                | 17,63                      | 0,37                          | 1                    |

| ACCOPLAST U<br>K90, -24 | Käyrän<br>nousukulma 1<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 2<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 3<br>(astetta) | Maksimi-<br>venymä<br>(mm) | Maksimi-<br>jännitys<br>(MPa) | Tartunta<br>betoniin |
|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1. rinnakkaiskoe        | 75,60                               | 52,40                               | 27,70                               | 18,00                      | 0,78                          | 1                    |
| 2. rinnakkaiskoe        | 82,20                               | 57,30                               | 29,70                               | 18,00                      | 0,87                          | 1                    |
| 3. rinnakkaiskoe        | 81,60                               | 58,00                               | 28,60                               | 16,30                      | 0,73                          | 2                    |
| keskiarvo               | 79,80                               | 55,90                               | 28,67                               | 17,43                      | 0,79                          | 1                    |

| SILPRUF<br>K90, -4 | Käyrän<br>nousukulma 1<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 2<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 3<br>(astetta) | Maksimi-<br>venymä<br>(mm) | Maksimi-<br>jännitys<br>(MPa) | Tartunta<br>betoniin |
|--------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1. rinnakkaiskoe   | 47,70                               | 13,00                               | 13,00                               | 18,00                      | 0,38                          | 1                    |
| 2. rinnakkaiskoe   | 47,70                               | 14,80                               | 14,80                               | 17,30                      | 0,41                          | 1                    |
| 3. rinnakkaiskoe   | 35,40                               | 11,90                               | 11,90                               | 18,00                      | 0,34                          | 1                    |
| keskiarvo          | 43,60                               | 13,23                               | 13,23                               | 17,77                      | 0,38                          | 1                    |

| SILPRUF<br>K90, -24 | Käyrän<br>nousukulma 1<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 2<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 3<br>(astetta) | Maksimi-<br>venymä<br>(mm) | Maksimi-<br>jännitys<br>(MPa) | Tartunta<br>betoniin |
|---------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1. rinnakkaiskoe    | 62,20                               | 17,20                               | 17,20                               | 18,00                      | 0,52                          | 1                    |
| 2. rinnakkaiskoe    | 56,30                               | 16,70                               | 16,70                               | 16,80                      | 0,45                          | 1                    |
| 3. rinnakkaiskoe    | 54,50                               | 16,40                               | 16,40                               | 16,20                      | 0,43                          | 1                    |
| keskiarvo           | 57,67                               | 16,77                               | 16,77                               | 17,00                      | 0,47                          | 1                    |



| SWEPCO<br>CRACK FILLER<br>K90, -4 | Käyrän<br>nousukulma 1<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 2<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 3<br>(astetta) | Maksimi-<br>venymä<br>(mm) | Maksimi-<br>jännitys<br>(MPa) | Tartunta<br>betoniin |
|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1. rinnakkaiskoe                  | 75,60                               | 72,60                               | 72,60                               | 1,50                       | 0,21                          | 1                    |
| 2. rinnakkaiskoe                  |                                     | 83,00                               | 83,00                               | 2,40                       | 0,27                          | 2                    |
| 3. rinnakkaiskoe                  | 0,00                                | 0,00                                | 0,00                                | 0,00                       | 0,20                          | 2                    |
| keskiarvo                         | 75,60                               | 77,80                               | 77,80                               | 1,95                       | 0,24                          | 2                    |

| SWEPCO<br>CRACK FILLER<br>K90, -24 | Käyrän<br>nousukulma 1<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 2<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 3<br>(astetta) | Maksimi-<br>venymä<br>(mm) | Maksimi-<br>jännitys<br>(MPa) | Tartunta<br>betoniin |
|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1. rinnakkaiskoe                   |                                     | 86,10                               | 86,10                               | 3,70                       | 0,50                          | 2                    |
| 2. rinnakkaiskoe                   | 88,40                               | 88,50                               | 88,50                               | 0,90                       | 0,60                          | 2                    |
| 3. rinnakkaiskoe                   | 16,70                               | 16,70                               | 16,70                               | 1,00                       | 0,11                          | 1                    |
| keskiarvo                          | 88,40                               | 87,30                               | 87,30                               | 2,30                       | 0,55                          | 2                    |

| SWEPCO POUR-<br>ABLE CRACK<br>FILLER; K90, -4 | Käyrän<br>nousukulma 1<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 2<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 3<br>(astetta) | Maksimi-<br>venymä<br>(mm) | Maksimi-<br>jännitys<br>(MPa) | Tartunta<br>betoniin |
|---|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1. rinnakkaiskoe                              | 65,10                               | 59,50                               | 12,40                               | 8,60                       | 0,23                          | 2                    |
| 2. rinnakkaiskoe                              | 58,80                               | 45,00                               | 45,00                               | 3,70                       | 0,39                          | 1                    |
| 3. rinnakkaiskoe                              | 76,80                               | 54,50                               | 11,00                               | 11,70                      | 0,32                          | 1                    |
| keskiarvo                                     | 66,90                               | 53,00                               | 22,80                               | 8,00                       | 0,31                          | 1                    |

| SWEPCO POUR-<br>ABLE CRACK<br>FILLER; K90, -24 | Käyrän<br>nousukulma 1<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 2<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 3<br>(astetta) | Maksimi-<br>venymä<br>(mm) | Maksimi-<br>jännitys<br>(MPa) | Tartunta<br>betoniin |
|--|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1. rinnakkaiskoe                               | 77,20                               | 68,20                               | 27,5                                | 4,80                       | 0,38                          | 2                    |
| 2. rinnakkaiskoe                               | 84,80                               | 79,70                               | 79,70                               | 1,80                       | 0,67                          | 2                    |
| 3. rinnakkaiskoe                               | 86,60                               | 83,40                               | 80,80                               | 1,90                       | 0,88                          | 1                    |
| keskiarvo                                      | 82,87                               | 77,10                               | 62,67                               | 2,83                       | 0,64                          | 2                    |

STATISTIX 3.5

ID: Betonin merkitys yleisesti venymän suhteen, kaikki massat -<sup>4</sup><sub>5</sub> 20 APR 94, 15:4

VIEW DATA

| CASE | K50    | K90    |
|------|--------|--------|
| 1    | 18.000 | 10.300 |
| 2    | 18.000 | 16.100 |
| 3    | 4.2000 | 6.1000 |
| 4    | 12.000 | 6.6000 |
| 5    | 8.3000 | 5.8000 |
| 6    | 12.300 | 16.600 |
| 7    | 0.3000 | 0.1000 |
| 8    | 0.5000 | 0.2000 |
| 9    | 0.2000 | 0.2000 |
| 10   | 18.000 | 6.6000 |
| 11   | 9.3000 | 16.800 |
| 12   | 18.000 | 18.000 |
| 13   | 18.000 | 13.300 |
| 14   | 18.000 | 18.000 |
| 15   | 18.000 | 3.1000 |
| 16   | 18.000 | 18.000 |
| 17   | 18.000 | 18.000 |
| 18   | 18.000 | 15.700 |
| 19   | 18.000 | 18.000 |
| 20   | 18.000 | 18.000 |
| 21   | 16.300 | 18.000 |
| 22   | 18.000 | 13.300 |
| 23   | 17.300 | 7.9000 |
| 24   | 18.000 | 18.000 |
| 25   | 1.5000 | 0.3000 |
| 26   | 2.4000 | 0.3000 |
| 27   | M      | M      |
| 28   | 8.6000 | 7.9000 |
| 29   | 3.4000 | 5.8000 |
| 30   | 11.700 | 7.2000 |

STATISTIX 3.5

ID: Betonin merkitys yleisesti venymän suhteen, kaikki massat -<sup>4</sup><sub>5</sub> 20 APR 94, 15:4

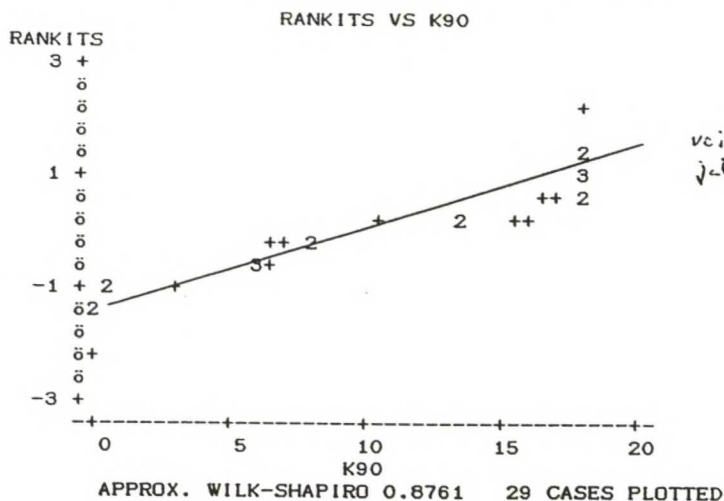
DESCRIPTIVE STATISTICS

|                  | K50       | K90       |
|------------------|-----------|-----------|
| CASES            | 29        | 29        |
| LOWER 95.0% C.I. | 9.809     | 7.895     |
| MEAN             | 12.42     | 10.49     |
| UPPER 95.0% C.I. | 15.04     | 13.08     |
| S.D.             | 6.876     | 6.821     |
| S.E. (MEAN)      | 1.277     | 1.267     |
| C.V.             | 55.34     | 65.02     |
| MINIMUM          | 2.000E-01 | 1.000E-01 |
| MEDIAN           | 17.30     | 10.30     |
| MAXIMUM          | 18.00     | 18.00     |

STATISTIX 3.5

20 APR 94, 15:47

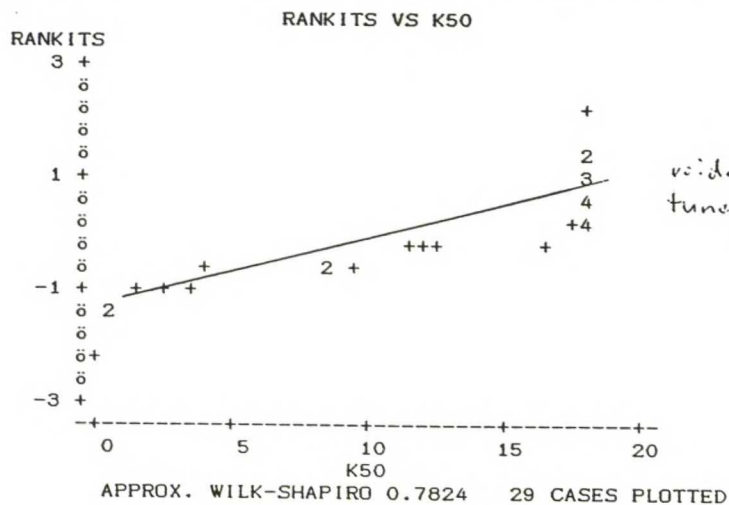
ID: Betonin merkitys yleisesti venymän suhteen, kaikki massat -4%



STATISTIX 3.5

20 APR 94, 15:48

ID: Betonin merkitys yleisesti venymän suhteen, kaikki massat -4%





STATISTIX 3.5

20 APR 94, 15:49

ID: Betonin merkitys yleisesti venymän suhteen, kaikki massat -~~4~~6%

PAIRED T TEST FOR K50 - K90

|      |        |           |           |
|------|--------|-----------|-----------|
| MEAN | 1.934  | STD ERROR | 8.548E-01 |
| T    | 2.26   |           |           |
| DF   | 28     |           |           |
| P    | 0.0316 |           |           |

CASES INCLUDED 29 MISSING CASES 1

$$H_0 : M_{k90} = M_{k50}$$

$$H_1 : M_{k90} \neq M_{k50}$$

$$\alpha = 0,05$$

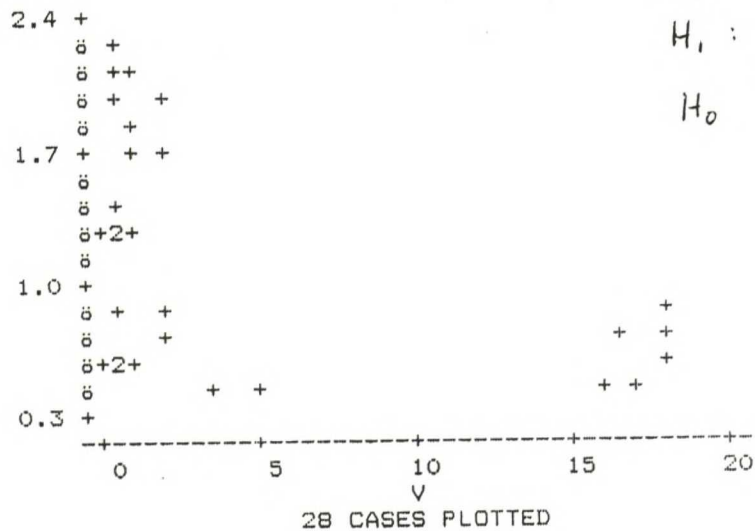
$$p < 0,05 \Rightarrow H_0 \text{ hyljätään}$$

STATISTIX 3.5

ID: korrelaatio jännitys-venymä, K90 -24

J VS V

J



11 APR 94, 14:36

Eroaanko korrelaatiokerroin merkittävästi nolosta:

$$H_0: \rho = 0$$

$$H_1: \rho \neq 0$$

$$H_0 \text{ hyl} \text{ kun } t \geq 2,048 \quad (n=28)$$

$$t \geq 2,045 \quad (n=29)$$

STATISTIX 3.5

ID: korrelaatio jännitys-venymä, K90 -24

CORRELATIONS (PEARSON)

|   | J       | V      |
|---|---------|--------|
| J | 1.0000  |        |
| V | -0.4712 | 1.0000 |

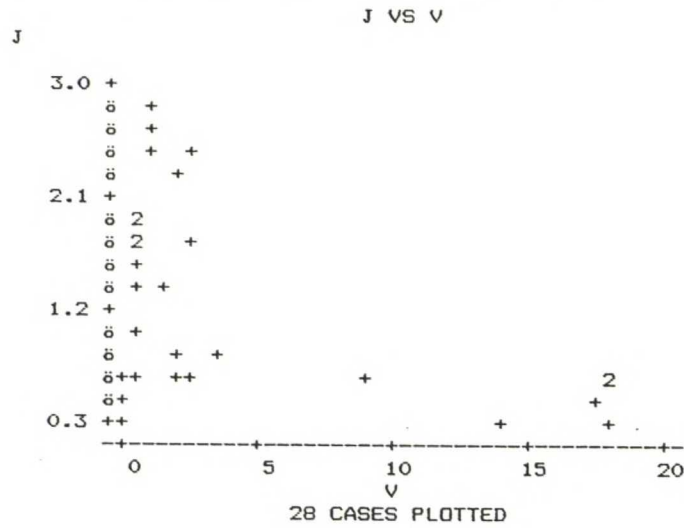
CASES INCLUDED 28 MISSING CASES 0

11 APR 94, 14:36

$$t = 2,72 \geq 2,048 \Rightarrow H_0 \text{ hylätään}$$

STATISTIX 3.5  
ID: korrelaatio, venymä-jännitys, K50 -24°C

11 APR 94, 1



STATISTIX 3.5  
ID: korrelaatio, venymä-jännitys, K50 -25

11 APR 94, 1

CORRELATIONS (PEARSON)

|   | J       | V      |
|---|---------|--------|
| J | 1.0000  |        |
| V | -0.4620 | 1.0000 |

$t = 2.66 \geq 2.048$   $H_0$  hylkään

CASES INCLUDED 28 MISSING CASES 0



Sauman mittasuhteet, K50, -5

| Sauma<br>70 x 9 x 35<br>(p x l x s) | Käyrän<br>nousukulma 1<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 2<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 3<br>(astetta) | Maksimi-<br>venymä<br>(mm) | Maksimi-<br>jännitys<br>(MPa) |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| 1. rinnakkaiskoe                    | 86,80                               | 78,00                               | 66,90                               | 5,90                       | 0,86                          |
| 2. rinnakkaiskoe                    | 84,80                               | 77,50                               | 24,40                               | 7,90                       | 0,45                          |
| 3. rinnakkaiskoe                    | 88,00                               | 76,00                               | 63,30                               | 4,90                       | 0,75                          |
| keskiarvo                           | 86,53                               | 77,17                               | 51,53                               | 6,23                       | 0,69                          |

| Sauma<br>70 x 9 x 25<br>(p x l x s) | Käyrän<br>nousukulma 1<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 2<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 3<br>(astetta) | Maksimi-<br>venymä<br>(mm) | Maksimi-<br>jännitys<br>(MPa) |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| 1. rinnakkaiskoe                    | 77,60                               | 65,60                               | 32,60                               | 10,30                      | 0,74                          |
| 2. rinnakkaiskoe                    | 82,10                               | 68,20                               | 17,70                               | 16,10                      | 0,73                          |
| 3. rinnakkaiskoe                    | 86,20                               | 72,10                               | 52,40                               | 6,10                       | 0,81                          |
| keskiarvo                           | 81,97                               | 68,63                               | 34,23                               | 10,83                      | 0,76                          |

| Sauma<br>70 x 9 x 13,5<br>(p x l x s) | Käyrän<br>nousukulma 1<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 2<br>(astetta) | Käyrän<br>nousukulma 3<br>(astetta) | Maksimi-<br>venymä<br>(mm) | Maksimi-<br>jännitys<br>(MPa) |
|---------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| 1. rinnakkaiskoe                      | 64,00                               | 31,80                               | 7,70                                | 18,00                      | 0,46                          |
| 2. rinnakkaiskoe                      | 65,60                               | 30,50                               | 13,20                               | 6,50                       | 0,35                          |
| 3. rinnakkaiskoe                      | 69,70                               | 35,40                               | 13,50                               | 18,00                      | 0,42                          |
| keskiarvo                             | 66,43                               | 32,57                               | 11,47                               | 14,17                      | 0,41                          |